NNT : *2013 EMSE 0719*

THÈSE

présentée par

Carine EL HAJJ

pour obtenir le grade de
Docteur de l'École Nationale Supérieure des Mines de Saint-Étienne

Spécialité : Sciences et Génie de l'Environnement

METHODOLOGIE POUR L'ANALYSE ET LA PREVENTION DU RISQUE D'ACCIDENTS TECHNOLOGIQUES INDUITS PAR L'INONDATION (NATECH) D'UN SITE INDUSTRIEL

soutenue à Saint Etienne, le 07 Novembre 2013

Membres du jury

Président :		
Rapporteurs :	Jean-Marie FLAUS	Professeur, INP Grenoble
	Yves PERRODIN	Directeur de Recherche, ENTPE Vaulx-En-Velin
Examinateur(s) :	Ana Maria CRUZ	Professeur Associé, Université de Kyoto
	Gilles DUSSERRE	Directeur de Recherche, Ecole des Mines d'Alès
Directeur(s) de thèse :	Valérie LAFOREST	Maître de Recherche, ENSM-SE
	Eric PIATYSZEK	Chargé de Recherche, ENSM-SE
Invité(s) éventuel(s):	Alicja TARDY	Ingénieur, ENSM-SE
	André RULLIERE	Responsable Environnement, Badoit Saint-Galmier

Spécialités doctorales :	Responsables :
SCIENCES ET GENIE DES MATERIAUX	K. Wolski Directeur de recherche
MECANIQUE ET INGENIERIE	S. Drapier, professeur
GENIE DES PROCEDES	F. Gruy, Maître de recherche
SCIENCES DE LA TERRE	B. Guy, Directeur de recherche
SCIENCES ET GENIE DE L'ENVIRONNEMENT	D. Graillot, Directeur de recherche
MATHEMATIQUES APPLIQUEES	O. Roustant, Maître-assistant
INFORMATIQUE	O. Boissier, Professeur
IMAGE, VISION, SIGNAL	JC. Pinoli, Professeur
GENIE INDUSTRIEL	A. Dolgui, Professeur
MICROELECTRONIQUE	

EMSE : Enseignants-chercheurs et chercheurs autorisés à diriger des thèses de doctorat (titulaires d'un doctorat d'État ou d'une HDR)

AVRIL	Stéphane	PR2	Mécanique et ingénierie	CIS
BATTON-HUBERT	Mireille	PR2	Sciences et génie de l'environnement	FAYOL
BENABEN	Patrick	PR1	Sciences et génie des matériaux	CMP
BERNACHE-ASSOLLANT	Didier	PR0	Génie des Procédés	CIS
BIGOT	Jean Pierre	MR(DR2)	Génie des Procédés	SPIN
BILAL	Essaid	DR	Sciences de la Terre	SPIN
BOISSIER	Olivier	PR1	Informatique	FAYOL
BORBELY	Andras	MR(DR2)	Sciences et génie de l'environnement	SMS
BOUCHER	Xavier	PR2	Génie Industriel	FAYOL
BRODHAG	Christian	DR	Sciences et génie de l'environnement	FAYOL
BURLAT	Patrick	PR2	Génie Industriel	FAYOL
COURNIL	Michel	PR0	Génie des Procédés	DIR
DARRIEULAT	Michel	IGM	Sciences et génie des matériaux	SMS
DAUZERE-PERES	Stéphane	PR1	Génie Industriel	CMP
DEBAYLE	Johan	CR	Image Vision Signal	CIS
DELAFOSSE	David	PR1	Sciences et génie des matériaux	SMS
DESRAYAUD	Christophe	PR2	Mécanique et ingénierie	SMS
DOLGUI	Alexandre	PR0	Génie Industriel	FAYOL
DRAPIER	Sylvain	PR1	Mécanique et ingénierie	SMS
FEILLET	Dominique	PR2	Génie Industriel	CMP
FOREST	Bernard	PR1	Sciences et génie des matériaux	CIS
FORMISYN	Pascal	PR0	Sciences et génie de l'environnement	DIR
FRACZKIEWICZ	Anna	DR	Sciences et génie des matériaux	SMS
GARCIA	Daniel	MR(DR2)	Génie des Procédés	SPIN
GERINGER	Jean	MA(MDC)	Sciences et génie des matériaux	CIS
GIRARDOT	Jean-jacques	MR(DR2)	Informatique	FAYOL
GOEURIOT	Dominique	DR	Sciences et génie des matériaux	SMS
GRAILLOT	Didier	DR	Sciences et génie de l'environnement	SPIN
GROSSEAU	Philippe	DR	Génie des Procédés	SPIN
GRUY	Frédéric	PR1	Génie des Procédés	SPIN
GUY	Bernard	DR	Sciences de la Terre	SPIN
GUYONNET	René	DR	Génie des Procédés	SPIN
HAN	Woo-Suck	CR	Mécanique et ingénierie	SMS
HERRI	Jean Michel	PR1	Génie des Procédés	SPIN
INAL	Karim	PR2	Microélectronique	CMP
KERMOUCHE	Guillaume	PR2	Mécanique et Ingénierie	SMS
KLOCKER	Helmut	DR	Sciences et génie des matériaux	SMS
LAFOREST	Valérie	MR(DR2)	Sciences et génie de l'environnement	FAYOL
LERICHE	Rodolphe	CR	Mécanique et ingénierie	FAYOL
LI	Jean Michel		Microélectronique	CMP
MALLIARAS	Georges	PR1	Microélectronique	CMP
MOLIMARD	Jérôme	PR2	Mécanique et ingénierie	CIS
MONTHEILLET	Franck	DR	Sciences et génie des matériaux	SMS
PERIER-CAMBY	Laurent	PR2	Génie des Procédés	DFG
PIJOLAT	Christophe	PR0	Génie des Procédés	SPIN
PIJOLAT	Michèle	PR1	Génie des Procédés	SPIN
PINOLI	Jean Charles	PR0	Image Vision Signal	CIS
POURCHEZ	Jérémy	CR	Génie des Procédés	CIS
ROUSTANT	Olivier	MA(MDC)		FAYOL
STOLARZ	Jacques	CR	Sciences et génie des matériaux	SMS
SZAFNICKI	Konrad	MR(DR2)	Sciences et génie de l'environnement	CMP
TRIA	Assia		Microélectronique	CMP
VALDIVIESO	François	MA(MDC)	Sciences et génie des matériaux	SMS
VIRICELLE	Jean Paul	MR(DR2)	Génie des Procédés	SPIN
WOLSKI	Krzystof	DR	Sciences et génie des matériaux	SMS
XIE	Xiaolan	PR0	Génie industriel	CIS

ENISE : Enseignants-chercheurs et chercheurs autorisés à diriger des thèses de doctorat (titulaires d'un doctorat d'État ou d'une HDR)

BERGHEAU	Jean-Michel	PU	Mécanique et Ingénierie	ENISE
BERTRAND	Philippe	MCF	Génie des procédés	ENISE
DUBUJET	Philippe	PU	Mécanique et Ingénierie	ENISE
FORTUNIER	Roland	PR	Sciences et Génie des matériaux	ENISE
GUSSAROV	Andrey	Enseignant contractuel	Génie des procédés	ENISE
HAMDI	Hédi	MCF	Mécanique et Ingénierie	ENISE
LYONNET	Patrick	PU	Mécanique et Ingénierie	ENISE
RECH	Joël	MCF	Mécanique et Ingénierie	ENISE
SMUROV	Igor	PU	Mécanique et Ingénierie	ENISE
TOSCANO	Rosario	MCF	Mécanique et Ingénierie	ENISE
ZAHOUANI	Hassan	PU	Mécanique et Ingénierie	ENISE

Mise à jour : 07/04/2013

PR 0	Professeur classe exceptionnelle
PR 1	Professeur 1ère classe
PR 2	Professeur 2ème classe
PU	Professeur des Universités
MA (MDC)	Maître assistant
DR	Directeur de recherche

Ing.	Ingénieur
MCF	Maître de conférences
MR (DR2)	Maître de recherche
CR	Chargé de recherche
EC	Enseignant-chercheur
IGM	Ingénieur général des mines

SMS	Sciences des Matériaux et des Structures
SPIN	Sciences des Processus Industriels et Naturels
FAYOL	Institut Henri Fayol
CMP	Centre de Microélectronique de Provence
CIS	Centre Ingénierie et Santé

Résumé

Un évènement Natech est un accident TECHnologique provoqué par l'impact d'un aléa NAturel sur une installation industrielle (telles que les Installations Classées pour la Protection de l'Environnement). Cet accident peut porter atteinte à l'extérieur de l'emprise du site, aux personnes, aux biens ou à l'environnement. Bien que rares (2 à 7% du total des accidents), ces accidents ont tendance à augmenter et leurs conséquences peuvent être catastrophiques. L'étude bibliographique a mis en exergue des lacunes dans le domaine de la prévention du risque Natech inondation et plus particulièrement dans la compréhension des mécanismes de ces accidents. L'objectif de ce travail est de mettre au point une méthodologie pour l'analyse et la prévention du risque d'accidents technologiques induits par l'inondation (Natech inondation) d'un site industriel de type ICPE. La méthodologie repose, dans un premier temps, sur une étude des Retours d'Expériences (analyse a posteriori) afin de capitaliser des connaissances pertinentes dans le domaine. Il a été identifié que les accidents Natech sont imputables à un rejet de matières dangereuses sur des équipements dits critiques contenant les dites substances. Les dommages aux équipements critiques amenant à ces rejets sont dus à des impacts directs ou indirects des eaux d'inondation. Les rejets de matières dangereuses vont généralement amener à trois types d'accidents (incendie, pollution, explosion) en fonction du type de substances dangereuses concernées. Dans un deuxième temps, la méthode MADS-MOSAR a été adaptée à l'application aux accidents Natech inondation. Ainsi, une analyse a priori, enrichie par ces REX, a permis la représentation systémique de l'installation industrielle- dans laquelle plusieurs sous-systèmes sources de danger impliqués dans la génération des accidents Natech inondation ont été identifiés- et de l'environnement. Cette représentation systémique est ensuite employée pour chercher et ainsi expliciter les mécanismes menant de l'aléa naturel à l'accident technologique. L'analyse a abouti à cinq scénarios génériques d'accident Natech inondation potentiellement observables au sein d'une ICPE sous forme de cinq nœuds papillons. Une soixantaine de Mesures de Maîtrise de Risque (MMR) de prévention et de protection ont été identifiées. La validation des nœuds papillons génériques est effectuée, d'une part, à l'échelle du secteur d'activité de traitement de surface et, d'autre part, à l'échelle spécifique d'établissements industriels. Cette validation a permis de tester la complétude et la plausibilité des scénarios ainsi que la pertinence des MMR proposées. Ce travail a abouti à un outil de diagnostic de la vulnérabilité d'une installation industrielle type ICPE aux accidents Natech inondation en se basant sur ces scénarios d'accidents génériques, accompagné d'un catalogue de MMR. Enfin, ce diagnostic a été appliqué sur un site industriel afin d'évaluer son mode opératoire et de l'enrichir par l'expérimentation.

Abstract

A Natech accident is the impact of a NAtural event on an industrial plant (such as an ICPE-Classified Installation for the Environmental Protection). The impact can trigger a TECHnological accident, damaging the vicinity of the industrial facility (inhabitants, their properties and the environment). This type of accidents is rare (2-7% of total technological accidents), but tends to increase. Furthermore, its consequences can be catastrophic. A literature review showed some gaps in risk prevention of technological accidents triggered by floods, especially in understanding the mechanisms of such accidents. The final objective of this work is to develop a risk analysis methodology for the prevention of technological accidents triggered by flooding of industrial facilities. Therefore, the work begins with an analysis of past technological accidents triggered by floods. Thus, it was identified that Natech accidents are the consequences of hazardous materials releases from critical equipment, which in turn are damaged directly and indirectly by flood waters. Depending on the type of hazardous substances released, three categories of technological accidents are observed (fire, pollution and explosion). Afterwards, a risk analysis methodology was developed. It is mainly based on the MADS-MOSAR method, which was modified in order to be adapted to the Natech issue. The risk analysis begins with a representation of the industrial installation- where several sources of hazards involved directly and indirectly in the generation of the Natech accidents were identified- and the environment. The systematic representation was then used to find the mechanisms leading from the natural hazard to the technological accident. The analysis resulted in the identification of five generic scenarios of technological accidents triggered by floods that can occur within an industrial installation. These scenarios were represented using the bow-tie tool. Then, around sixty preventive and protective measures were identified. The validation of the elaborated scenarios was done, on one hand, in the surface treatment industrial sector and, on the other hand, in two specific industrial facilities. The validation phase helped to test the completeness and plausibility of the generic scenarios, as well as the relevance of the measures previously identified. Furthermore, the validated scenarios were used to develop a checklist helping operators to decrease the vulnerability of their industrial facilities to technological accidents triggered by floods, along with a catalog of preventive and protective measures. Finally, the tool was applied to an industrial installation in order to enhance it and test its relevance by operators.

Table des matières

Introduction générale **17**

Chapitre 1. Sites industriels ICPE confrontés aux aléas naturels (accidents Natech) : Contexte et problématique **21**

1.1. Risque majeur et sa gestion 23

1.1.1 Notions de risque 23

1.1.2 Définition et gestion du risque majeur 26

1.2 Risque industriel majeur et ICPE 28

1.2.1 Règlementation ICPE 28

1.2.2 Gestion intégrée du risque industriel 30

1.3 Risques naturels majeurs 33

1.3.1 Risque naturel inondation 35

1.3.2 Gestion intégrée du risque inondation 36

1.4 Accidents Natech : conjonction des risques naturels et industriels 39

1.4.1 Définitions 39

1.4.2 Problématique du risque Natech 42

1.4.3 Synthèse sur la gestion du risque Natech inondation 52

1.5 Méthodes de gestion des risques 54

1.5.1 Démarche générale de gestion des risques dans un contexte industriel 54

1.5.2 Catégories des méthodes de gestion des risques 55

1.5.3 Contraintes et besoins d'une méthode d'analyse des phénomènes Natech 56

1.5.4 Méthodes 57

1.5.5 Synthèse et conclusion sur l'adéquation des méthodes existantes à l'analyse du risque Natech inondation 73

Conclusion du chapitre 1: Synthèse des hypothèses, présentation de la question de recherche et de l'objectif du travail de recherche 77

Chapitre 2. Méthodologie pour l'analyse et la prévention du risque d'accidents technologiques induits par l'inondation (Natech inondation) vers le développement de scénarios d'accidents génériques **79**

2.1 Première étape : Etude REX sur les accidents Natech inondation 83

2.1.1 Importance de l'analyse REX et le développement de scénarios d'accidents en analyse de risques 83

2.1.2 Données REX exploitées 84

2.1.3 Analyse des données REX et limites 86
2.2 Deuxième étape : Modélisation d'un site industriel et de son environnement 98
2.2.1 Modélisation en entreprise 98
2.2.2 Modélisation contextuelle/conceptuelle d'une ICPE et identification des systèmes sources de danger concernés par le risque Natech inondation 100
2.3 Troisième étape : Développement des scénarios d'accidents technologiques induits par l'inondation (Natech inondation) 104
2.3.1 Notions théoriques MOSAR : démarche de référence pour le développement des scénarios 104
2.3.2 Phase 1 : Analyse MADS 107
2.3.3 Phase 2 : Identification des scénarios 115
2.3.4 Phase 3 : Construction des scénarios 118
2.4 Quatrième Etape : Proposition de barrières de sécurité 126
2.4.1 Catégories de MMR adoptées 126
2.4.2 Recherche des MMR sur la base des scénarios d'accidents proposés 128
Conclusion du chapitre 2 137
Chapitre 3. Validation et utilisation des scénarios génériques pour l'élaboration d'un outil de diagnostic 139
3.1 Validation des scénarios d'accidents 141
3.1.1 Validation générique des scénarios d'accidents au niveau d'un secteur industriel spécifique : le traitement de surface 142
3.1.2 Validation spécifique des scénarios d'accidents auprès de deux installations industrielles situées en zone inondable 155
3.1.3 Synthèse de la phase de validation 169
3.2 Elaboration de l'outil de diagnostic de la vulnérabilité de l'entreprise au risque d'accidents technologiques induits par l'inondation 169
3.2.1 Apports du diagnostic pour l'entreprise 170
3.2.2 Composition de l'instrument de diagnostic et mode d'emploi 171
3.2.3 Description du déroulement du diagnostic 171
Conclusion du chapitre 3 190
Chapitre 4. Application du diagnostic au niveau d'une entreprise et enseignements tirés 193
4.1 Présentation de l'entreprise d'application 195
4.2 Déroulement de l'expérimentation 197
4.2.1 Prise de connaissance du type d'inondation menaçant le site- Fiche A 197
4.2.2 Identification des équipements critiques situés en zone inondable- Fiche B 198
4.2.3 Identification des évènements critiques potentiels- Fiche C 201

4.2.4 Construction des scénarios d'accidents technologiques induits par l'inondation, spécifique au site X- Fiche D, E et F 202
4.2.5 Identification des Mesures de prévention et de protection- Fiche G et H 205
4.2.6 Organisation des mesures identifiées dans des plans d'urgence et d'actions et suivi de la mise en place des mesures permanentes- Fiche I, J et K. 207
4.2.7 Bilan 207
4.3 Evaluation du mode opératoire de la méthode de diagnostic 208
4.3.1 Questionnaire de satisfaction 208
4.3.2 Enseignements tirés des résultats du questionnaire de satisfaction et apports à l'outil de diagnostic 208
4.4 Intérêts pour le site industriel 209
4.5 Apports à l'amélioration de l'outil 210
Conclusion du chapitre 4 211
Synthèse, Discussions et Perspectives 213
Liste des communcations 213
Références bibliographiques 225
Annexes 235

Remerciements

Ce travail a été effectué au sein du département PIESO (Performance Industrielle et Environnementale des Systèmes et Organisation) de l'Institut Henri Fayol à l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne, et je tiens à remercier vivement Monsieur Xavier Olagne pour m'avoir autorisé à réaliser ce travail au sein des locaux de l'Institut et Monsieur Patrick Burlat pour m'avoir accueilli dans son équipe.

Pour leur aide, leur confiance, leurs conseils et leur patience, toute ma reconnaissance à Madame Valérie Laforest, ma directrice de thèse, et Monsieur Eric Piatyszek, mon encadrant. Sans votre soutien et votre disponibilité pour répondre à mes nombreuses questions durant ces trois années, ce travail de thèse n'aurait sans doute jamais abouti.

Je remercie Messieurs Jean-Marie Flaus et Yves Perrodin pour avoir accepté de rapporter ce travail de thèse.

Je tiens également à remercier Monsieur Gilles Dusserre, Mesdames Ana Maria Cruz et Fabienne Mulard pour avoir accepté de faire partie du jury.

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à Madame Alicja Tardy, pour son aide et sa collaboration ainsi qu'à sa participation au jury de thèse.

Une agréable et chaleureuse ambiance de travail m'a été offerte par TOUS mes collègues de l'équipe PIESO et plus particulièrement par mes collègues de bureau Valentine, Mariana, Jonathan et Lucile.

Une pensée affective toute particulière et un grand merci à ma famille (Toni, Marie, Tilda et Christelle) et à tous mes amis.

Enfin et surtout, je remercie du fond de mon cœur, mon fiancé Rachid qui est toujours présent à mes côtés : Merci pour tous les agréables moments que nous avons passés ensemble (et plus précisément pendant ces trois dernières années) et Merci de m'avoir aidé à franchir plusieurs épreuves qui auraient pu me faire échouer dans ce travail.

Liste des acronymes

AFNOR	Association Française de NORmalisation
AHP	Analytic Hierarchy Process
AMDEC	Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leur Criticité
APR	Analyse Préliminaire des Risques
ARAMIS	Accidental Risk Assessment Methodology for IndustrieS
ARIA	Analyse, Recherche et Information sur les Accidents
AZI	Atlas des Zones Inondables
BARPI	Bureau d'Analyse des risques et Pollutions Industriels
BLEVE	Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion
CEPRI	Centre Européen de Prévention du Risque Inondation
CETE	Centre d'Etudes Techniques
CETIM	Centre Technique des Industries Mécaniques
D, A, AS	Déclaration, Autorisation, Autorisation avec Servitudes
DCS	Dossier Communal Synthétique
DDRM	Dossier Départemental sur les Risques Majeurs
DICRIM	Document d'Information Communal sur les RIsques Majeurs
DPPR	Direction de la Prévention des Pollutions et des Risques
EDD	Etude De Danger
ENS	Evènement Non Souhaité
EPL	Etablissement Public Loire
FACTS	Failure and ACcidents Technical information System
HAZOP	HAZard and OPerability study
IAL	Information des Acquéreurs et Locataires
ICPE	Installation Classée Pour l'Environnement
INERIS	Institut National de l'EnviRonnement industriel et des rISques
IRM	Integrated Risk Management

ISDR	International Strategy for Disaster Reduction
ISO	International Standard Organisation
JRC	Joint Research Center
KPI	Key Performance Indicator
LOC	Los Of Containment
MADS	Méthodologie d'Analyse des Dysfonctionnements des Systèmes
MARS	Major Accident Reporting System
MEDDE	Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie
MHIDAS	Major Hazard Incident DAta Service
MIMAH	Methodology for the Identification of Major Accident Hazards
MIRAS	Methodology for the Identification of Reference Accident Scenarios
MMR	Mesure de Maîtrise de Risque
MOSAR	Méthode Organisée Systémique d'Analyse des Risques
NU	Nations Unies
OCDE	Organisation de Coopération et de Développement Economiques
PACA	Provence Alpes Côte d'Azur
PCS	Plan Communal de Sauvegarde
PET	Polytéréphtalate d'EThylène
PME	Petite et Moyenne Entreprise
PMI	Petite et Moyenne Industrie
PPRI	Plan de Prévention du Risque Inondation
PPRT	Plan de Prévention du Risque Technologique
QRA	Quantitative Risk Assessment
REX	Retour d'EXpérience
SADT	Structures Analysis and Design Technique
SGS	Systèmes de Gestion de la Sécurité
UE	Union Européenne

Liste des figures :

Figure 1 : Schéma de principe du cycle de gestion intégrée des risques et correspondance avec les cinq étapes décrites dans le tableau 1. Adapté de (Loat et Zimmermann, 2004)……...27

Figure 2 : Transposition de la classification ICPE à la classification Seveso (MEDDE, 2007)……..…30

Figure 3 : Nombre d'entreprises situées en zone inondable sur le bassin versant de la Loire (EPL, consulté le 10 Novembre 2010)……...……34

Figure 4 : Représentation de l'installation industrielle en tant qu'enjeu du risque naturel et aléa du risque technologique……...……...39

Figure 5 : Augmentation du nombre des catastrophes naturelles entre 1980 et 2010 (April entreprise, 2011)…….……..…….43

Figure 6 : Nombre de sites Seveso de la région PACA par nombre de types de risque d'inondation auxquels ils sont soumis (Esposito et al., 2006)…….……44

Figure 7 : Représentation du risque Natech inondation et de ses composantes par rapport aux risques naturel inondation et technologique……...…..53

Figure 8 : Processus de management du risque. Adapté de (Dassens, 2007)…….……54

Figure 9 : Méthodes de gestion du risque Natech : Combinaison des méthodes de réduction de la vulnérabilité au risque naturel inondation et des méthodes de gestion du risque technologique……...…...58

Figure 10 : Décomposition hiérarchique de l'objectif de l'AHP « Dommages occasionnés à l'environnement du site industriel » (Rota et al., consulté le 27 février 2013)……...……62

Figure 11 : Décomposition du contexte d'étude selon la méthode MOSAR. Adapté de (Périlhon, 2007)…….…….…….65

Figure 12 : Modèle MADS (Périlhon, 2007)…….65

Figure 13 : Extrait des arbres de causes de scénarios d'accidents développés dans le cadre du projet ARAMIS (MEDDE-Direction des risques accidentels, 2004)…….…..…68

Figure 14 : Synthèse du guide pour la conduite des diagnostics des vulnérabilités aux inondations pour les entreprises industrielles (Mengual, 2005)……...…..…..70

Figure 15 : Modélisation générale d'autodiagnostic de vulnérabilités aux inondations (Mengual, 2005)……..…..……71

Figure 16 : Etapes du diagnostic de vulnérabilité des entreprises au risque inondation de l'EPL (Bouissou, 2011)…….....73

Figure 17 : Démarche pour le choix de la méthodologie à développer……..……....…….…..81

Figure 18: Démarche d'élaboration de la méthodologie……82

Figure 19 : Source des accidents analysés (272 accidents déclenchés par l'aléa inondation entre 1960 et 2007) (Cozzani et al., 2010)……..……..….85

Figure 20 : Représentation schématique des Impacts directs, indirects et induits d'un aléa naturel sur une installation industrielle et son environnement……..…..87

Figure 21 : Illustration des relations entre les différents types d'impacts directs, indirects et induits……..88

Figure 22 : Schéma du déroulement d'un phénomène Natech inondation…….……..…..90

Figure 23 : Catégories d'équipements principalement impliqués dans les accidents Natech inondation. (a) catégorie générale ; (b) détails des réservoirs de stockage ; (c) détails des réacteurs industriels cylindrique (Cozzani et al., 2010)…….….92

Figure 24 : Caractérisation de l'intensité de l'inondation basée sur 48 accidents rapportés avec un degré de détails suffisant (Cozzani et al., 2010)……..….……92

Figure 25 : Classification de 18 accidents Natech inondation basée sur la hauteur des eaux d'inondation (h : hauteur d'eau en m ; NE : Nombre d'Evènements) (Cozzani et al., 2010)……..…..……....….93

Figure 26 : Nombres et pourcentages des phénomènes dangereux finaux initiés par l'inondation d'installations industrielles, basés sur 170 accidents reportés (Cozzani et al., 2010)…….……96

Figure 27 : Synthèse des résultats de l'étude REX (LOC : Loss Of Containment ; (R) : Intensité de rejet)…….……..…..97

Figure 28 : Illustration du passage du système à la modélisation (Périlhon, 2007)……..….99

Figure 29 : Représentation des niveaux d'abstraction des systèmes (Pollet, consulté le 15 Mars 2013)……...……..….99

Figure 30: Modélisation générique contextuelle/conceptuelle d'une installation industrielle type ICPE (SS: Sous-Système). Adapté de (Périlhon, 2007)……..…100

Figure 31: Représentation schématique d'un accident Natech inondation en utilisant le formalisme MADS……...……103

Figure 32 : Représentation du sous-système X sous forme de boîte noire (Périlhon, 2007)……..…..103

Figure 33 : Principe de genèse de scénarios en utilisant des boîtes noires (Périlhon, 2007)……104

Figure 34 : Boîte noire correspondant au sous-système « Equipement critique »……..……116

Figure 35 : Interaction entre les boîtes noires correspondantes aux différents sous-systèmes…...…….117

Figure 36 : Représentation d'un scénario d'accident par le modèle « Nœud papillon » (MEDDE-Direction des risques accidentels, 2004)……...….118

Figure 37 : Arbre de défaillances correspondant à l'évènement critique « Brèche du contenant »..... …121

Figure 38 : Synthèse de l'élaboration de l'arbre d'évènements sur la base de la boîte noire correspondant au sous-système « Equipements critiques »…….……..124

Figure 39 : Arbre d'évènements correspondant à l'évènement critique « Brèche du contenant »……..125

Figure 40 : Catégories de MMR adoptées dans le cadre de ce travail de recherche. Inspiré de (MEDDE-Direction des risques accidentels, 2004)……...…127

Figure 41 : Stratégies de prévention du risque inondation (METL MEDDE, 2012)……...130

Figure 42 : Synthèse des différentes phases des étapes 1, 2 et 3 de la méthodologie…….……137

Figure 43 : Structure générale d'une chaîne de traitement de surface par voie aqueuse (Laforest, 1999)…….……144

Figure 44 : Schéma simplifié fonctionnelle d'une usine type de traitement de surface (Gardes, 2001)…….……145

Figure 45 : Trajet commun aux pièces de fabrication et aux substrats dans un atelier de traitement de surface (Commission EU, 2005)……..…….…….146

Figure 46 : Actigramme et Datagramme (Vernadat, 2010)…….148

Figure 47 : Représentation globale du système (Vernadat, 1999)……..…….…….148

Figure 48 : A0 : le contexte de la modélisation structuro-fonctionnelle d'un atelier de traitement de surface……..…….149

Figure 49 : Extrait de la modélisation SADT d'un atelier de traitement de surface……..……...151

Figure 50 : Arbre de défaillances correspondant à l'évènement critique « Brèche du contenant de la cuve de traitement » spécifique au secteur de traitement de surface……..…..……...154

Figure 51 : Arbre d'évènements correspondant à l'évènement critique « Brèche du contenant de la cuve de traitement » spécifique au secteur de traitement de surface……..……154

Figure 52 : Image satellite de l'entreprise CIC (Source : Google Map)……..156

Figure 53 : A gauche, installations situées en rez-de-chaussée de l'entreprise ; A droite, installations situées en sous-sol de l'entreprise (Source : Arrêté de prescriptions complémentaires n°2009/0363 http://www.installationsclassees.developpement-durable.gouv.fr).....157

Figure 54 : Extrait du PPRI du bassin du Furan et positionnement des entreprises CIC (en jaune) et STEM (en rouge)…….158

Figure 55 : Arbre de défaillances correspondant à l'évènement critique « Brèche du contenant » de l'équipement critique « Cuve de traitement CrO_3 » de l'entreprise CIC……...160

Figure 56 : Arbre d'évènements, postérieurs au rejet de substances dangereuses, spécifique à l'entreprise CIC……...161

Figure 57 : Plan de masse de l'entreprise STEM…….……163

Figure 58 : Arbre de défaillances correspondant à l'évènement critique « Brèche du contenant » de l'équipement critique « cuve de zingage» de l'entreprise STEM……..…….166

Figure 59 : Arbre d'évènements, postérieurs au rejet de substances dangereuses, spécifique à l'entreprise STEM…….....…..167

Figure 60 : Schéma global de déroulement d'un diagnostic de vulnérabilité (GSC MEDDE, 2007)……170

Figure 61 : Agencement des différentes parties du diagnostic. Inspiré de (Mengual, 2005)…….…….172

Figure 62 : Schéma (facultatif) de la fiche B permettant de représenter chaque équipement critique identifié pour faciliter la visualisation de son environnement et de ses dépendances à l'échelle industrielle…….……..…..175

Figure 63 : Extrait du PPRI du bassin versant de l'affluent de la Loire pour la commune où se situe l'entreprise X……...…….196

Figure 64 : Plan de masse de l'entreprise X…….……..…...196

Figure 65 : Photos de dégâts observés à l'extérieur et à l'intérieur du site de l'entreprise X lors de l'inondation du 2 Novembre 2008…….…..……..197

Figure 66 : Schéma fonctionnelle de l'entreprise X……...……..199

Figure 67 : Arbre de défaillance correspondant à l'évènement critique « Brèche du contenant du réservoir de stockage GPL »…….205

Figure 68 : Arbre d'évènements correspondant à l'évènement critique « Brèche du contenant du réservoir de stockage GPL »…….……205

Liste des tableaux :

Tableau 1 : Les cinq étapes de la gestion intégrée du risque. Adapté de (Loat et Zimmermann 2004)……27

Tableau 2 : Répartition du nombre de sinistres et des coûts en fonction des aléas naturels en France en 2006 (Grislain-Letrémy et Peinturier, 2010)……34

Tableau 3 : Présentation des dommages observés pour une hauteur d'eau identique et deux vitesses de courant différentes (Mengual, 2005)……36

Tableau 4 : Estimation de l'intensité de l'aléa en fonction du couple hauteur-vitesse (Garry et Graszk, 1999)...36

Tableau 5: Pourcentage d'accidents Natech répertoriés dans différentes bases de données d'accidentologie industrielle (Cozzani et al., 2010)……...42

Tableau 6 : Sites industriels à l'origine de déversements de substances chimiques dans le milieu naturel le 11 mars 2011 (MEDDE, 2013)……...43

Tableau 7 : Quelques exemples d'accidents Natech……..45

Tableau 8 : Liste des évènements initiateurs concernés par la circulaire DPPR/SEI2/CB-06-0388 du 28/12/06, accompagnés des éléments réglementaires ou bonnes pratiques applicables (Aida, 2006)……....49

Tableau 9 : Les trois étapes de gestion de risque Natech inondation du « Guide pour la prise en compte du risque inondation ». Adapté de (Vallée et al., 2011)……..63

Tableau 10 : Tableau comparatif des méthodes de gestion de risque et des diagnostics de vulnérabilité abordés…….75

Tableau 11 : Nombre et pourcentage d'accidents industriels impliquant des aléas naturels par type de risque naturel (BARPI, 2011)……85

Tableau 12 : Impacts de l'inondation sur une installation industrielle et son environnement. Adapté de (Ledoux, 2000) (EPL, consulté le 10 Novembre 2010) (INERIS, 2004) (Mengual, 2005) (Cozzani et al., 2010) et en se basant sur les définitions données en 2.1.3.1…….89

Tableau 13 : Equipements potentiellement critiques les plus fréquemment endommagés durant une inondation……91

Tableau 14: Dommages structuraux provoqués aux équipements critiques les plus communément endommagés en cas d'inondation et leur catégorie de rejets correspondante, en fonction des trois classes d'intensité de l'aléa inondation. Adapté de (EL HAJJ et al., 2012)……94

Tableau 15 : Canevas du tableau A reprenant le processus de danger MADS (Périlhon, 2007)……..105

Tableau 16 : Extrait du tableau A correspondant à la source de danger « Réservoir de stockage » du SS1 « Equipements critiques »……...109

Tableau 17: Evènements critiques associés aux équipements critiques considérés dans le cadre l'étude……108

Tableau 18 : Définitions associées à chacun des évènements figurant sur le modèle du nœud papillon de la figure 36 (MEDDE-Direction des risques accidentels, 2004)…….119

Tableau 19 : Comparaison entre les catégories des MMR de prévention et de protection dans une variété de documents bibliographiques……..129

Tableau 20 : Extrait du tableau présentant les MMR de prévention (MP : Mesure permanente ; MU : Mesure d'urgence)……..132

Tableau 21 : Extrait du tableau présentant les MMR de protection (MP : Mesure permanente ; MU : Mesure d'urgence)……..136

Tableau 22 : Tableau résumant les points positifs de chaque méthode adoptée par rapport à notre travail de recherche, les difficultés rencontrées et les solutions proposées (pour les étapes 1, 2 et 3 de la méthodologie)..138

Tableau 23 : Récapitulatif des différents bains de traitement (Laforest, 1999)……...144

Tableau 24 : Pourcentage des Installations classées, ayant une activité principale de « Mécanique et le traitement de surface » et « Mécanique, électrique, traitement de surface », situées en zone inondable dans la région Rhône-Alpes (Source : base des installations classées- site : http://www.installationsclassees.developpement-durable.gouv.fr).....146

Tableau 25 : Composition des boîtes d'activités élaborées dans le cadre de la modélisation SADT……..150

Tableau 26 : Extrait du tableau A correspondant à la source de danger « Equipement critique : cuve de traitement »……153

Tableau 27 : Installations classées au sein de l'établissement CIC (Source : Arrêté préfectoral d'autorisation d'exploitation de l'entreprise CIC)……159

Tableau 28 : Equipements industriels de l'entreprise CIC considérés comme critiques…….159

Tableau 29 : MMR de prévention adoptées au sein de CIC organisées par catégorie de MMR de prévention établies dans le chapitre 2……..162

Tableau 30 : Installations classées au sein de l'établissement STEM (Source : Arrêté préfectoral d'autorisation d'exploitation de l'entreprise STEM)……164

Tableau 31 : Equipements industriels de l'entreprise STEM considérés comme critiques…….164

Tableau 32 : MMR de prévention adoptées au sein de STEM organisées par catégorie de MMR de prévention établies dans le chapitre 2……..168

Tableau 33 : Tableau à renseigner proposé dans la fiche B permettant d'identifier les équipements critiques dans le site industriel, les substances qu'ils contiennent et les groupes de danger……...174

Tableau 34 : Tableau de la fiche C permettant de rechercher les évènements critiques par équipement critique identifié sur le site industriel…….176

Tableau 35 : Constitution des nœuds papillons proposés dans le cadre du diagnostic……179

Tableau 36 : Format de présentation de chaque mesure de prévention dans le catalogue des MMR de prévention……..183

Tableau 37 : Extrait du tableau de la fiche G permettant d'identifier les MMR de prévention propre au site industriel en s'appuyant sur le catalogue proposé…….184

Tableau 38 : Tableau proposé dans la fiche H pour l'identification des MMR de protection au niveau du site industriel diagnostiqué……..……186

Tableau 39 : Tableau de la fiche J pour organiser les mesures permanentes identifiées……..…..190

Tableau 40 : Tableau proposé dans la fiche K pour suivre la mise en place des mesures permanentes identifiées……..……190

Tableau 41 : Installations classées au sein de l'établissement X (Source : Arrêté préfectoral d'autorisation d'exploitation de l'entreprise)……..….200

Tableau 42 : Equipements industriels pris en compte dans le cadre de cette expérimentation……...201

Tableau 43 : Evènements critiques classés en fonction des équipements critiques……201

Tableau 44 : Mesures de prévention proposées (MP : Mesure Permanente ; MU : Mesure d'Urgence)……207

Tableau 45 : Dépendance de l'objectif de l'outil proposé et son appropriation par l'industriel du niveau de culture du risque Natech inondation ……..…220

Introduction générale

Introduction générale

La directive européenne Seveso II, qui sera remplacée le 1er Juin 2015 par la directive européenne Seveso III, et la législation française des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE) imposent aux exploitants industriels de prendre en compte le risque inondation en tant que source extérieure d'accidents technologiques majeurs. Bien que ce type d'accidents soit mentionné dans la réglementation, aucun texte réglementaire ou guide spécifique n'encadre sa gestion par les installations industrielles comme c'est le cas pour les autres accidents technologiques déclenchés par des aléas naturels tels que : séismes, foudres, neiges et vents ou par des défaillances internes au site.

Ces types d'accidents TECHnologique provoqués par l'impact d'un aléa NAturel sur une installation industrielle (telles que les Installations Classées pour la Protection de l'Environnement) sont connus sous le terme d'évènements Natech. Ces accidents peuvent porter atteinte à l'extérieur de l'emprise du site, aux personnes, aux biens ou à l'environnement. Bien que rares (2 à 7% du total des accidents), ils ont tendance à augmenter et leurs conséquences peuvent être catastrophiques.

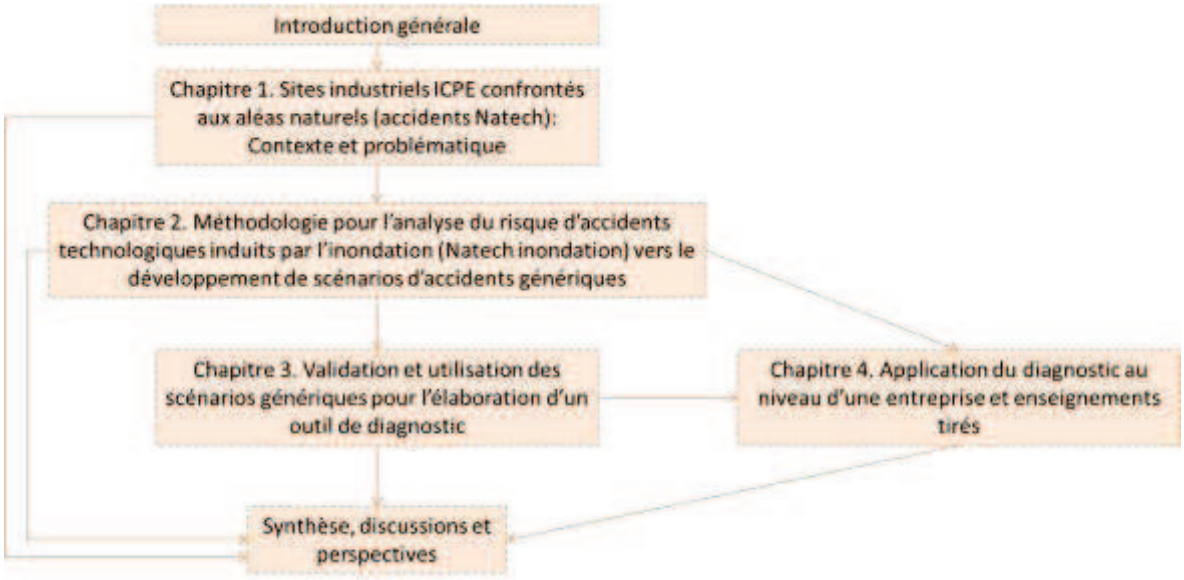
Ce travail de recherche porte sur l'analyse des mécanismes d'accidents Natech induits par l'aléa naturel inondation, nommés « Natech inondation », en vue d'améliorer leur prévention à l'échelle industrielle. En effet, ces accidents Natech inondation possèdent des particularités rendant leur gestion différente de la gestion de risques technologiques classiques : les phénomènes naturels ne perturbent pas seulement le site mais aussi tout l'environnement extérieur (voie d'accès, alimentation électrique générale…) ; les systèmes de sécurité et les dispositifs d'intervention sont, la plupart du temps, défaillants ; les « effets dominos » sont fréquents, etc. Il est donc pertinent de considérer le risque inondation comme une source de danger externe d'accidents industriels majeurs, à part, dans la procédure de gestion de risque d'un établissement industriel. De plus, la proposition de méthodes de gestion de ce type spécifique de risque a été qualifiée de prioritaire par une étude menée par le Joint Research Center (JRC), portant sur la gestion du risque Natech inondation à l'échelle industrielle dans les pays membres de l'Organisation de Coopération et de Développement Economiques (OCDE). A l'heure actuelle, peu de travaux se sont intéressés à ces questions, et ils se concentrent plutôt sur des analyses de bases d'accidentologie industrielle ou de retours d'expériences d'accidents Natech inondation. D'où l'intérêt d'étudier les mécanismes de ces types d'accidents assez particuliers, d'en rechercher les causes et les conséquences et d'identifier les Mesures de Maîtrise de Risques (MMR) qui s'y appliquent

L'enjeu de ce travail de recherche est de permettre l'amélioration de la prévention du risque Natech inondation à la source, à l'échelle industrielle, en identifiant les mécanismes d'occurrence de ces accidents, afin de réduire leurs conséquences potentielles sur le voisinage du site industriel. L'objectif est donc de fournir **une méthodologie pour l'analyse et la prévention du risque d'accidents technologiques induits par l'inondation d'un site industriel** et de fournir une aide à la décision aux industriels sous forme de diagnostic de vulnérabilité. Nous proposons dans ce travail d'atteindre cet objectif en développant des scénarios d'accidents Natech inondation générique qui vont servir de base pour le développement de l'outil proposé aux exploitants industriels.

Pour cela, une analyse de risques a priori est effectuée, enrichie par une étude des REX dans le domaine. Elle consiste en une représentation systémique du contexte d'étude : l'installation industrielle- dans laquelle plusieurs sous-systèmes sources de danger impliqués directement et

indirectement dans la génération des accidents Natech inondation ont été identifiés- et l'environnement, ainsi que l'étude des interactions entre les différents sous-systèmes du contexte. Ce travail s'est inspiré principalement de la méthode MADS-MOSAR, à laquelle des « extensions » sont apportées afin de l'adapter à la problématique Natech. Cette analyse a abouti à la définition de cinq scénarios génériques d'accident Natech inondation, sous forme de nœuds papillons, potentiellement observables au sein d'une ICPE. En se basant sur ces nœuds papillons, une soixantaine de Mesures de Maîtrise de Risque (MMR) de prévention et de protection sont identifiées et un outil de diagnostic de la vulnérabilité d'une installation industrielle type ICPE aux accidents Natech inondation est ensuite développé.

Ce document est organisé en quatre chapitres. Le chapitre **1. Sites industriels ICPE confrontés aux aléas naturels (accidents Natech) : Contexte et problématique** présente l'état de l'art dans la gestion du risque Natech inondation à l'échelle industrielle. Il permet de poser les hypothèses de recherche et d'expliciter le besoin d'une méthodologie pour l'analyse du risque d'accidents technologiques induits par l'inondation sous forme d'outil d'aide à la décision simple d'utilisation. Le chapitre **2. Méthodologie pour l'analyse du risque d'accidents technologiques induits par l'inondation (Natech inondation) vers le développement de scénarios d'accidents génériques** illustre l'utilisation de l'approche présentée dans le chapitre 2 au cas du risque Natech inondation. Ainsi, il décrit les différentes étapes de la méthodologie, depuis l'étude REX jusqu'au développement des scénarios génériques d'accidents Natech inondation et l'identification des barrières de sécurité pour les éviter. Le chapitre **3. Validation et utilisation des scénarios génériques pour l'élaboration d'un outil de diagnostic** présente, tout d'abord, la validation des scénarios développés dans le chapitre 2, dans un secteur d'activité spécifique et dans deux installations industrielles situées en zone inondable. Ensuite, l'élaboration d'un outil de diagnostic de vulnérabilité à partir des scénarios génériques validés est détaillée. Une application de l'outil de diagnostic ainsi que les enseignements tirés de cette application sont présentés dans le chapitre **4. Application du diagnostic au niveau d'une entreprise et enseignements tirés.** Enfin une dernière partie intitulée **Synthèse, Discussion et Perspectives** achève ce manuscrit de thèse. Le plan schématique de la thèse est illustré dans le schéma ci-dessous.


Introduction générale
Chapitre 1. Sites industriels ICPE confrontés aux aléas naturels (accidents Natech): Contexte et problématique
Chapitre 2. Méthodologie pour l'analyse du risque d'accidents technologiques induits par l'inondation (Natech inondation) vers le développement de scénarios d'accidents génériques
Chapitre 3. Validation et utilisation des scénarios génériques pour l'élaboration d'un outil de diagnostic
Chapitre 4. Application du diagnostic au niveau d'une entreprise et enseignements tirés
Synthèse, discussions et perspectives

Chapitre 1. Sites industriels ICPE confrontés aux aléas naturels (accidents Natech) : Contexte et problématique

Chapitre 1. Sites industriels ICPE confrontés aux aléas naturels (accidents Natech) : Contexte et problématique

Déversement d'hydrocarbures, pollution chimique, émanation de monoxyde de carbone, il ne s'agit pas de termes auxquels nous nous attendons en pensant aux dommages potentiellement observables suite à des catastrophes naturelles. Par contre, ces accidents sont bel et bien réels, aussi bien que les destructions de bâtiments pouvant être provoquées par les flux importants d'eaux d'inondation. En effet, les rejets de substances dangereuses par les équipements industriels à la suite d'évènements naturels extrêmes (tels que les séismes, les glissements de terrain, les ouragans ou les inondations) menacent le voisinage d'un site industriel en augmentant la potentialité de l'exposition à ces substances dangereuses rejetées et même à d'autres types d'accidents tels que les incendies résultant de l'inflammation de substances rejetées. Ces types d'accidents sont connus sous le nom d'accidents Natech.

En ce qui concerne l'évènement naturel inondation, ces menaces sont d'autant plus pesantes et prégnantes, du fait de l'installation des établissements industriels, d'une part, à proximité des réseaux hydrographiques, afin de faciliter leur accès aux ressources en eau utilisées dans le cadre de leur processus de production ou de leur processus de refroidissement, etc., et d'autre part, à proximité des zones urbanisées afin de simplifier, entre autres, le transfert de leurs produits, ce qui augmente l'exposition de la population avoisinante au risque Natech.

Ce chapitre présente ce risque Natech, en tant que conjonction entre risque naturel et risque industriel. Mais avant cela, la notion de risque majeur et sa gestion intégrée à l'échelle d'un territoire sont décrites dans la partie 1.1. Ensuite, les notions de risque industriel et risque naturel inondation et leur gestion intégrée sont abordées respectivement dans les parties 1.2 et 1.3. La problématique du risque Natech et de sa gestion intégrée sont introduites tout en exposant les difficultés et les lacunes quant à cette gestion (partie 1.4). Ensuite, la partie 1.5 présente un état de l'art des méthodes de gestion du risque Natech inondation, du risque technologique et de méthodes de réduction de la vulnérabilité des industries au risque inondation. Ces méthodes sont étudiées quant à leur adéquation à la gestion du risque Natech inondation.

1.1. Risque majeur et sa gestion

1.1.1 Notions de risque

« Le risque constitue aujourd'hui un thème central dans nos sociétés » (Veyret et al., 2004) car il représente une des grandes contradictions de la société postindustrielle : à une qualité de vie jamais atteinte dans l'histoire de l'humanité, une augmentation des pertes et des dommages provoqués par des phénomènes naturels extrêmes est observée.

Ainsi, le terme « risque » est couramment employé de nos jours et même si des définitions « standard » existent et ont été proposées au niveau international (par exemple par l'ISO), il reste un

mot complexe et polysémique. Ce même mot a un sens différent en fonction des différentes disciplines scientifiques dans lesquelles il est utilisé. Cette polysémie a également été expliquée par (Périlhon, 2007) comme « un développement historique du domaine du risque, en réponse aux besoins mais sans concepts supports, associé à des cultures d'entreprise différentes, au sein desquelles s'est souvent développé ce vocabulaire ».

Il apparaît donc pertinent de revenir sur l'historique de ce terme avant de fournir quelques définitions classiques qui permettent de construire la définition du risque qui est adoptée dans ce travail.

1.1.1.1 Historique du risque

L'apparition de la notion du risque s'est effectuée au fur et à mesure de l'évolution de l'humanité. Une première apparition de cette notion a eu lieu à l'époque de l'Italie de la renaissance où ce terme était plutôt associé à l'écueil que peuvent rencontrer les navires, et par extension au danger encouru en mer. A cette même époque, la pratique du Prêt à Intérêt prend son essor (notamment à Venise, Genève, Pays-Bas, Angleterre, Portugal…) et voit une multiplication des banques internationales, dont la plupart sont spécialisées dans le commerce maritime. Ce développement du libéralisme qui confronte l'homme de l'époque à l'incertitude dans la prise de décisions afin de minimiser des pertes potentielles, introduit la prise de risque économique à partir d'un calcul de coûts-bénéfices. (Veyret et al., 2004)

Ce domaine s'est ensuite surtout développé à partir de la seconde guerre mondiale suite à l'apparition d'armes sophistiquées, ce qui a nécessité le développement de la fiabilité des objets techniques. Par ailleurs, les premiers outils de la sûreté de fonctionnement (AMDEC et arbres logiques) se sont développés durant les années 1960 en se basant sur les notions de fiabilité des années 1940 et 1950 (développés dans le cadre des systèmes d'armes aux Etats-Unis). (Périlhon, 2007)

Durant les années 1970, le développement de l'industrie nucléaire ainsi que la préoccupation de l'opinion publique face à ce risque entre autres, a poussé à l'utilisation des outils d'analyse de risques dans le nucléaire. Le risque s'est vulgarisé et s'est répandu dans la société (risque nucléaire, du travail) et s'est élargi à tous les domaines socio-environnementaux : social, industriel, écologique, entrepreneurial, financier. Chaque discipline se l'est approprié à sa façon et selon ses objectifs/besoins.

A la fin des années 1980, les sciences humaines s'intéressent massivement à cette problématique et alimentent l'approche scientifique du risque ainsi que les nouvelles politiques publiques de mitigation et de prévention. Elles se focalisent sur la vulnérabilité sociale, les mécanismes de gestion du territoire et la perception sociale des dangers. Egalement, durant les années 1980, tous « les savoirs des années 1970 pénètrent dans l'industrie ». Commence ainsi la diffusion des outils d'analyse en milieu industriel. A cette époque apparaissent aussi les éléments de la science de danger avec la création du mot « cindyniques ». (Périlhon, 2007)

1.1.1.2 Définitions du risque

D'une façon générale, un risque peut être défini comme la « probabilité d'un danger menaçant ou portant atteinte à la vie et, plus globalement, au cadre d'existence d'un individu ou d'un collectif » (Lévy et Lussault, 2003).

Dans son manuscrit de thèse, Dassens (2007) précise que le risque est une **mesure (en termes de probabilité et de gravité) du danger** qui associe une mesure de l'occurrence d'un évènement indésirable (la probabilité) et une mesure de ses effets ou conséquences (la gravité) (Villemeur, 1988). Dans ISO (2002), le risque est défini comme la « combinaison de la gravité et de la probabilité d'un évènement redouté résultant d'une situation de danger », qui peut être illustrée par l'expression (1) suivante :

$$\text{Risque} = \text{Probabilité} \otimes \text{Gravité} \qquad (1)$$

Ces deux dernières définitions introduisent le concept de danger qui correspond à la propriété intrinsèque d'une substance (butane par exemple) ou d'une disposition (déplacement d'une charge par exemple) à entraîner un dommage.

Gardes (2001) souligne qu'une troisième dimension peut être ajoutée à la définition du risque : il s'agit de l'acceptabilité du risque. L'acceptabilité du risque est représentée généralement sous forme d'un seuil en-dessous duquel on accepte l'existence du danger bien que sa gravité et sa probabilité d'occurrence ne soient pas nulles. D'où l'importance de hiérarchiser les risques les uns par rapport aux autres au moyen de seuil de gravité/probabilité afin de pouvoir agir au niveau des risques jugés les plus graves vis-à-vis notamment du bénéfice retiré du risque encouru et de la sensibilité du public au risque (Londiche, 2004).

La définition du risque se précise davantage avec la loi du 30 juillet 2003 « relative à la prévention des risques technologiques et naturels et à la réparation des dommages » et la circulaire du 2 octobre 2003 « relative aux mesures d'application immédiate introduites par la loi n° 2003-699 en matière de prévention des risques technologiques dans les installations classées » qui introduisent la notion d'aléa aussi bien technologique que naturel et de vulnérabilité. Dans son manuscrit de thèse Mengual (2005) définit le risque en regroupant ces deux entités- le phénomène qui est à l'origine du risque et les enjeux sensibles à ce phénomène. Ainsi, le risque est présenté comme étant le produit de l'aléa et de la vulnérabilité (équation 2) (Alexander, 2002).

Un aléa est défini comme l'occurrence potentielle, en un temps et un lieu géographique déterminé, d'un phénomène, d'origine naturelle, technologique, sanitaire ou autre, susceptible de nuire à la vie, aux biens et aux activités humaines au point de provoquer un accident ou une catastrophe (Karagiannis, 2010). Deux paramètres sont utilisés pour évaluer un aléa : le phénomène dangereux (nature, intensité, localisation…) et sa probabilité (ou fréquence) d'occurrence.

La vulnérabilité, quant à elle, désigne les conséquences de l'aléa occasionnées sur les enjeux. Plus précisément, elle désigne l'exposition des enjeux à l'aléa et les ressources disponibles pour y faire face. La vulnérabilité se rapproche de la notion de sensibilité d'un élément, d'un système ou d'une organisation (enjeu) exposé à un évènement perturbateur (aléa). D'Ercole (1994) parle « d'endommagement potentiel des biens et des personnes ».

Les enjeux sont définis comme étant des personnes, biens, systèmes, ou autres éléments présents dans les zones de risque et qui sont ainsi soumis à des pertes potentielles (NU et ISDR, 2009). Les pertes provoquées par la survenue d'un aléa vont dépendre du nombre et de la vulnérabilité des enjeux.

L'exposition au risque résulte ainsi de la combinaison de l'aléa avec la vulnérabilité. La réduction d'un de ces deux éléments constitutifs (aléa, vulnérabilité des enjeux) conduit à la réduction du risque (Mengual, 2005).

Ainsi, le risque peut s'exprimer suivant les équations (2) et (3) suivantes :

$$\text{Risque} = \text{Aléa} \otimes \text{Vulnérabilité} \quad (2)$$

Sachant que :

$$\text{Aléa} = \text{Intensité} \otimes \text{Probabilité d'occurrence}$$

Alors,

$$\text{Risque} = \text{Intensité du phénomène} \otimes \text{Probabilité d'occurrence du phénomène} \otimes \text{Vulnérabilité} \quad (3)$$

A noter que l'introduction de l'aléa technologique est une notion relativement récente. Avant 2003, les acteurs du risque industriel employaient essentiellement l'expression (Probabilité X Gravité), l'expression (Aléa X Vulnérabilité) étant plutôt réservée aux risques naturels. Dans le cadre de ce mémoire, c'est cette définition unique qui est employée.

1.1.2 Définition et gestion du risque majeur

Selon (prim.net, consulté le jeudi 21 Février 2013), quand la probabilité de survenue de l'aléa caractérisant le risque est assez faible et la gravité des conséquences est très importante, on parle alors de risque majeur.

Souvent, le terme de risque majeur est couplé au terme de catastrophe ; Une catastrophe étant une perturbation extrême du fonctionnement d'une société qui entraîne d'importantes pertes humaines, matérielles ou environnementales, et à laquelle la société touchée ne peut pas faire face avec ses seules ressources (NU et ISDR, 2009).

Selon (Karagiannis, 2010), le terme de gestion des risques « caractérise l'approche structurée pour faire face aux risques. Cette approche repose sur l'évaluation des risques et le développement des stratégies pour réduire le risque en utilisant des ressources disponibles ». La gestion des risques peut s'appliquer à un territoire, une entité ou bien une situation.

De nos jours, un renforcement d'une **gestion globale du risque majeur sur le territoire** est observé. Une tentative de prédire, de contrôler au maximum les éléments perturbateurs, ainsi que leurs interactions et leurs conséquences sur des enjeux exposés tout en anticipant et amplifiant la réactivité des acteurs face au danger est effectuée. Cette gestion dite intégrée des risques (figure 1) (IRM : Integrated Risk Management en anglais) se focalise sur la considération et l'intervention au niveau de l'ensemble des composantes d'un territoire, en suivant les cinq étapes (Loat et Zimmermann, 2004) présentées dans le tableau 1:

Tableau 1 : Les cinq étapes de la gestion intégrée du risque. Adapté de (Loat et Zimmermann, 2004).

Etape	Description
Etape 1 : Prévention	Formulation des stratégies d'organisation et occupation durable du territoire (enjeu)
Etape 2 : Protection	Mise en place de mesures structurelles pour atténuer la fréquence et l'intensité des phénomènes dangereux (aléa)
Etape 3 : Planification	Avec d'une part la sensibilisation et le renforcement d'une culture du risque, et d'autre part, la planification de l'organisation spécifique à la gestion de crise
Etape 4 : Gestion et intervention	Gestion et intervention lors de la matérialisation du risque
Etape 5 : Réhabilitation	Gestion des dommages, remise en état, réaménagement et reconstruction du territoire sinistré

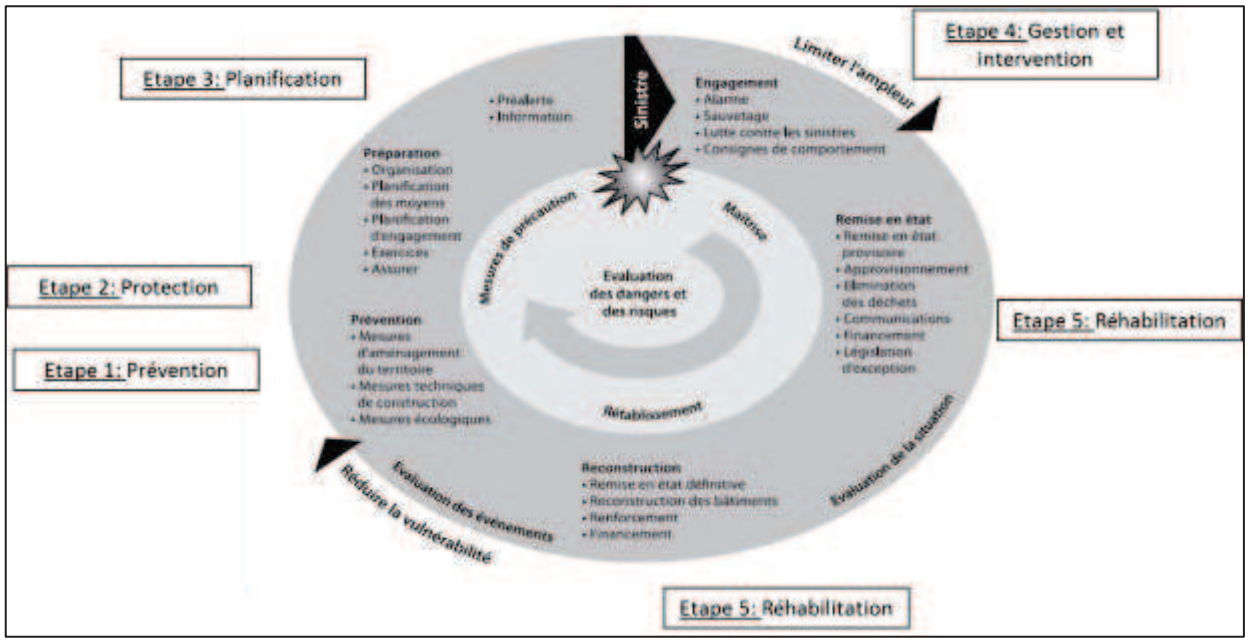


Figure 1 : Schéma de principe du cycle de gestion intégrée des risques et correspondance avec les cinq étapes décrites dans le tableau 1. Adapté de (Loat et Zimmermann, 2004).

La gestion intégrée des risques s'appuie, à la fois, sur une intervention précédant la manifestation d'une perturbation (planifier la prévention des risques) et la suivant (gestion de crise et retour d'expérience).

1.2 Risque industriel majeur et ICPE

Un risque industriel majeur est un évènement accidentel se produisant sur un site industriel et entraînant des conséquences immédiates graves pour le personnel, les populations avoisinantes, les biens et/ou l'environnement (prim.net, consulté le 21 Février 2013).

Les causes des accidents industriels peuvent être diverses. Sans prétendre à l'exhaustivité, les causes potentielles principales d'un accident industriel peuvent être (MEDDE, 2007):

- une défaillance au niveau des équipements industriels : défaillance mécanique ou défaillance liée à un mauvais entretien. Une défaillance peut être à l'origine de rejets de substances dangereuses ou bien de réactions d'emballement responsables de fuite de substances dangereuses (par génération de produits toxiques par exemple), de montée en pression (suite à la génération de gaz), etc. ;
- une erreur humaine : le facteur humain peut être lié par exemple à une méconnaissance des risques, à une erreur de manipulation ou à un manque de formation ;
- des causes externes peuvent engendrer un accident industriel : les risques naturels tels qu'un séisme ou une inondation (accident Natech) ou encore une cause extérieure comme la chute d'un avion ;
- un incident sur une installation voisine, qui peut avoir des effets sur d'autres installations à risques (effets dominos) ;
- la malveillance, comme par exemple un acte terroriste.

Un accident industriel peut être le résultat d'un seul évènement ou de la combinaison de plusieurs évènements. Ces combinaisons d'évènements conduisant à un phénomène dangereux sont connues sous le nom de « scénario d'accident ».

Les effets des évènements dangereux peuvent être thermiques, mécaniques ou toxiques. Les effets thermiques résultent des incendies et des explosions et peuvent provoquer des brûlures plus ou moins graves aux travailleurs et aux personnes. Les effets mécaniques comportent la surpression qui se produit suite à une onde de choc provoquée par une explosion. La surpression provoque des blessures de personnes et une destruction de biens suite à la projection des fragments de l'explosion (missiles primaires et secondaires), ou bien de chutes de personnes à cause de l'onde de choc. Enfin, une fuite de substances dangereuses au niveau d'une installation industrielle peut, par inhalation, par contact avec la peau ou les yeux, ou par ingestion, provoquer de graves lésions pour les personnes et des pollutions environnementales (risque.gouv.fr, Consulté le 1 Octobre 2012).

1.2.1 Règlementation ICPE

Afin de gérer efficacement le risque industriel et de règlementer le fonctionnement des installations industrielles pouvant générer des nuisances ou des risques pour l'environnement, la France dispose d'une législation nommée la législation des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement ou plus communément règlementation ICPE (Loi 76 décret d'application 77).

Dans le cas du management du risque, elle représente la transcription en droit français de la directive 96/82/CE dite Seveso II promulguée le 9 décembre 1996 et modifiée en 2003. Cette dernière sera

remplacée par la directive 2012/18/UE du 4 juillet 2012 dite directive Seveso III qui a été publié le 24 juillet 2012 au journal officiel de l'union européenne et qui entrera en vigueur le 1er juin 2015. La directive Seveso relative aux accidents majeurs impliquant des substances dangereuses a pour objectif d'instaurer un principe de surveillance des installations industrielles à risques par les exploitants et un principe de contrôle par les autorités publiques. Elle définit une politique d'ensemble pour la prise en compte des risques d'accidents majeurs visant à assurer la sécurité des travailleurs et du public, la transparence vis-à-vis du public et le principe de l'amélioration continue.

La législation ICPE définit une installation classée comme « toute exploitation industrielle ou agricole susceptible de créer des risques ou de provoquer des pollution ou nuisances, notamment pour la sécurité et la santé des riverains » ("Accueil - ICPE," consulté le 25 Novembre 2010). Elle comporte deux grands volets : un classement des substances et préparations suivant leurs natures, leurs caractéristiques de stockage ou leur utilisation, et un classement des activités en fonction des opérations et risques qu'elles comportent. Son objectif est d'identifier les risques associés aux installations industrielles considérées et de prendre les mesures nécessaires pour y faire face afin de garantir la sécurité des populations et des travailleurs et de limiter les nuisances pour l'environnement (rejets de polluants liquides, gazeux, odeurs, nuisances en tout genre).

La règlementation ICPE définit quatre régimes de classement au regard des dangers ou nuisances présents sur les installations (MEDDE, 2007) :

- **La déclaration (D),** où l'exploitant adresse à l'autorité préfectorale une déclaration décrivant l'installation concrète. En retour, l'autorité lui adresse un arrêté type, décrivant les prescriptions générales qu'il doit respecter. Ce niveau s'applique aux industries dont le potentiel de danger est le moins important ;
- **L'enregistrement (E),** qui concerne le cas d'installations qui se trouve entre les deux régimes de déclaration (D) et d'autorisation (A). En partant du constat de la complexité et lourdeur excessives de la procédure d'autorisation pour certaines catégories d'installations, il est apparu nécessaire de réduire le nombre de dossiers soumis à autorisation, sans aller jusqu'à passer les installations concernées dans le régime de déclaration (trop simple pour ces cas).
- **L'autorisation (A)**. L'exploitant est dans l'obligation de demander une autorisation préfectorale d'exploiter avant la mise en service de l'installation. Cette autorisation s'appuie sur une étude d'impact et une étude de danger. L'étude d'impact consiste à analyser les répercussions de l'établissement industriel en situation d'exploitation normale sur son environnement. L'étude de danger (EDD) étudie l'ensemble des phénomènes dangereux qui peuvent survenir sur les installations et conduire à un incident ou accident. Il s'agit d'un document technique, qui analyse toutes les dérives possibles d'une installation pouvant conduire à des enchaînements d'évènements (scénarios d'accident), et qui entraînent des phénomènes dangereux produisant des effets sur les enjeux. Les procédures d'autorisation présentent ainsi les nuisances et les risques générés par l'installation, mais aussi les mesures entreprises pour y faire face.
- **L'autorisation avec servitudes d'utilité publique (AS)**. L'exploitant doit également demander une autorisation préfectorale avant la mise en service de l'installation, mais des servitudes d'utilités publiques sont imposées afin de règlementer l'urbanisation autour de ces sites à hauts risques et garantir une distance d'éloignement suffisante des habitations. Les servitudes d'utilités publiques sont des limitations administratives du droit de propriété et d'usage du sol (MEDDE, consulté le 21 août 2013).

L'équivalent de la classification des établissements industriels dans la règlementation ICPE en regard de la classification SEVESO est présenté dans la figure 2.

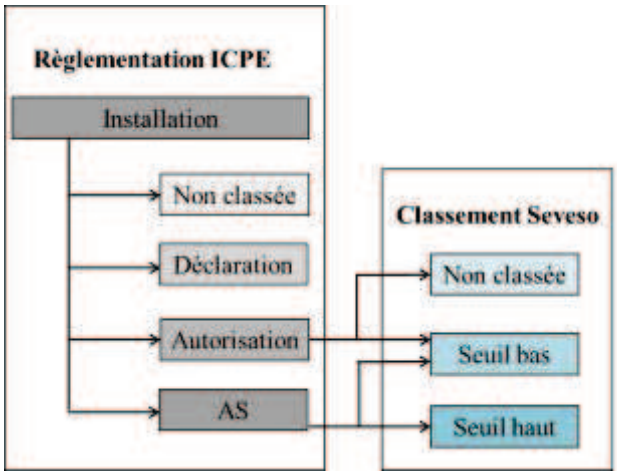


Figure 2 : Transposition de la classification ICPE à la classification Seveso (MEDDE, 2007).

L'ensemble de la politique de prévention des risques technologiques se base en France sur cette réglementation ICPE. Dans les paragraphes qui suivent, nous montrons comment cette réglementation, qui se décline en plusieurs volets, suit les étapes du cycle de la gestion intégrée des risques (figure 1).

1.2.2 Gestion intégrée du risque industriel

Une présentation des cinq étapes (tableau 1) de la gestion intégrée du risque industriel à l'échelle d'un territoire, qui se base sur la législation ICPE, est effectuée dans cette section. Un développement plus étoffé est effectué pour les trois premières étapes du cycle qui se rattachent à la problématique de ce travail de recherche.

1.2.2.1 Prévention : Plan de Prévention du Risque Technologique (PPRT)

L'étape « Prévention » du cycle de la gestion intégrée du risque (figure 1) porte sur la modification de la nature de l'occupation des sols ainsi que la modification de la vulnérabilité des éléments physiques.

Dans le cas du risque industriel, la prévention à l'échelle d'un territoire est assurée principalement par **l'outil de maîtrise de l'urbanisation PPRT** (Plan de Prévention du Risque Technologique). Il s'agit d'un outil réglementaire créé par la loi relative à « la prévention des risques technologiques et naturels et à la réparation des dommages » du 30 juillet 2003 dans l'objectif de faciliter la maîtrise de l'urbanisation autour des sites à haut risque. Ces plans ont pour but de limiter l'exposition de la population aux conséquences des accidents (enjeux autour de l'industrie). Cette démarche repose d'une part, sur la maîtrise de l'urbanisation existante à proximité des établissements industriels les plus dangereux et, d'autre part, sur l'interdiction ou la limitation de l'urbanisation nouvelle.

Le PPRT délimite ainsi, autour des installations à haut risque (AS), des zones à l'intérieure desquelles des prescriptions peuvent être imposées aux constructions existantes et futures et celles à l'intérieur desquelles les constructions futures peuvent être interdites (MEDDE DPPR, 2005a). Cet outil se fonde sur les phénomènes les plus probables identifiés dans le cadre de l'étude de danger.

Le PPRT agit donc également sur la réduction de la vulnérabilité des enjeux en imposant des prescriptions aux constructions autour du site industriel tel que des actions sur le bâti en fonction de

l'effet thermique (mise en place de matériaux de protection non inflammables), toxique (confinement) ou de surpression (actions de renforcement sur l'ensemble des façades du bâti) (MEDDE DPPR, 2005a).

Le PPRT peut également servir d'outil d'information du public envers les risques technologiques auxquels la population autour du site industriel est soumise (partie « Planification » du cycle de la gestion du risque intégrée).

La finalité première du PPRT est la protection de la population du risque technologique. Une autre de ses finalités est la maîtrise du risque à la source par la mise en œuvre de mesures au niveau de l'entreprise qui doivent être décrites et jointes au plan approuvé (partie « Protection » du cycle de la gestion du risque intégrée). Mais cette maîtrise de risque à la source est assurée plus en profondeur en amont du PPRT à l'échelle de l'industrie.

1.2.2.2 Protection : Maîtrise des risques à la source

L'étape « Protection » du cycle intégré de gestion de risque (figure 1) consiste en une mise en place de mesures structurelles pour atténuer la fréquence et l'intensité des phénomènes dangereux au niveau de l'aléa technologique (l'installation industrielle). Il s'agit de l'application du principe de la maîtrise des risques à la source (à l'échelle de l'aléa technologique qui est l'établissement industriel), qui peut s'effectuer suivant trois axes complémentaires (MEDDE DPPR, 2005a):

- Réduire le potentiel de danger présent sur le site ;
- Limiter l'intensité des phénomènes dangereux susceptibles de se produire ;
- Réduire la probabilité d'occurrence des phénomènes dangereux.

Le principe de maîtrise du risque technologique à la source se base principalement sur l'évaluation de ce risque par **l'étude de danger** (circulaire du 10 mai 2010)**.** Cette étude consiste en une analyse de risque tenant compte de la gravité potentielle et de la probabilité d'occurrence des accidents (selon la loi du 30 juillet 2003). Son objectif est de vérifier que les mesures de réduction du risque à la source sont mises en œuvre pour réduire le risque à un niveau aussi bas que possible.

En outre, toute installation classée à autorisation avec servitudes (AS) (Seveso seuil haut) est dans l'obligation de mettre en place un **Système de Gestion de la Sécurité (SGS)** conforme à l'annexe III de l'arrêté du 10 mai 2000 modifié relatif à « la prévention des accidents majeurs impliquant des substances ou des préparations dangereuses présentes dans certaines catégories d'installations classées pour la protection de l'environnement soumises à autorisation » (Techniques de l'ingénieur, consulté le 25 Janvier 2013). « Ce système doit définir l'organisation, les fonctions, les procédures et les ressources de tout ordre ayant pour objet la prévention et le traitement des accidents majeurs ». Ce dernier est présenté dans l'étude de danger et doit prouver de la prise en compte de toutes les dispositions possibles visant à minimiser les risques d'accidents majeurs et à en limiter les conséquences. Un autre élément composant du SGS est la gestion des situations d'urgence qui consiste à l'élaboration de procédures visant à identifier les situations d'urgence prévisibles et à élaborer les plans d'intervention (partie « Planification » du cycle de la gestion intégrée du risque).

Toute autre méthode d'analyse et de maîtrise du risque industriel mis en œuvre à l'échelle de l'entreprise fait partie du principe de la maîtrise du risque à la source et appartient à la deuxième étape « Protection » du cycle de gestion intégrée de risque.

1.2.2.3 Planification : Information préventive et plans de secours

L'étape « Planification » du cycle de gestion intégrée du risque (figure 1) consiste d'une part, en une sensibilisation et un renforcement d'une culture du risque, et d'autre part, en une planification de l'organisation spécifique à la gestion de crise.

i) Information préventive

L'information préventive fait partie du droit à l'information des citoyens sur les risques majeurs prévisibles (article L 125.2 du Code de l'environnement) qui impose à l'état de porter à connaissance de tous les informations relatives aux risques majeurs. Les objectifs de l'information préventive sont de fournir les connaissances nécessaires sur les dangers, les mesures de prévention et de protection (développer la culture du risque chez la population), d'aider à la construction d'une mémoire collective du risque et d'associer la population aux processus décisionnels. Plusieurs documents sont utilisés à cet égard : le DDRM (Dossier Départemental sur les Risques Majeurs), le DCS (Dossier Communal Synthétique), le DICRIM (Document d'Information Communal sur les RIsques Majeurs) et l'IAL (Information des Acquéreurs et Locataires).

Un autre moyen d'informations préventives est l'information du public par le biais de plaquettes sur les conduites à tenir en cas de survenance d'un accident, qui a été renforcée par la mise en place de comités locaux d'information et de concertation autour des sites à risque : le CLIC (Comité Local d'Information et de Concertation).

ii) Planification de la gestion de crise

Les plans d'urgence concernent la maîtrise des risques industriels en traitant l'organisation des secours en cas de survenance de l'accident majeur. Ces plans se basent sur l'intégralité des informations contenues dans l'étude de dangers.

A l'échelle zonale ou départementale, la planification des secours et la hiérarchisation des dispositifs de secours reposent sur le dispositif **ORSEC** (Organisation de la Réponse De SEcurité Civile) qui permet de mobiliser et d'organiser tous les moyens publics et privés pour garantir la protection générale de la population. Ce dispositif repose sur des dispositions générales définissant une organisation capable de s'adapter à tout type de crise, complétés par des dispositions spécifiques propres à certains risques particuliers, tel que le PPI (Plan Particuliers d'Intervention) adapté à un risque industriel particulier (MEDDE, 2007).

A l'échelle communale, le **PCS** (Plan Communal de Sauvegarde) permet de prévoir l'organisation d'une catastrophe technologique ou naturelle et les mesures de sauvetage à mettre en place pour protéger la population. Il est obligatoire pour les communes soumises à un PPRN approuvé (Plan de Prévention des Risques Naturels) ou à un PPI (MEDDE, 2007).

Pour les établissements classés Seveso AS, un POI (Plan d'Opération Interne) et un PPI sont obligatoires (MEDDE, 2007):

- Le **POI** permet à l'exploitant de gérer un sinistre en interne et de remettre l'installation dans un état le plus sûr possible. Son objectif est de définir l'organisation et les moyens adaptés permettant de maîtriser un accident déclenché dans le site. Il planifie

l'organisation, les ressources et les stratégies d'intervention en analysant les accidents qui peuvent survenir.

- Le **PPI** est établi par le préfet dans le cas où les effets du sinistre sortent des limites de l'établissement. Le PPI prévoit la mobilisation des services de secours publics (sapeurs-pompiers, gendarmes, police, SAMU), de l'ensemble des services de l'Etat (DDE, DRIRE, etc.), communes et acteurs privés (gestionnaires des réseaux, exploitant, etc.) et établit les mesures de protection de la population en cas d'accident.

Bien que l'utilité principale des plans de secours est la planification des secours, ils jouent aussi un rôle important dans le développement de la culture de risque de la population pour minimiser les conséquences d'un accident industriel.

1.2.2.4 Gestion et intervention : Application des plans de secours

La phase de gestion de crise (figure 1) commence lorsque l'évènement dangereux est imminent ou immédiatement suivant sa survenue. Elle englobe toutes les actions effectuées afin de sauver des vies humaines, protéger les biens et limiter les effets de l'évènement sur l'environnement (Karagiannis, 2010). Il s'agit plus particulièrement de l'application des mesures planifiées dans les différents plans de secours.

1.2.2.5 Réhabilitation

Cette étape (figure 1) est également connue sous le terme du retour à la normale. Elle est mise en œuvre progressivement après l'urgence. Le retour à la normale à l'échelle de l'entreprise est la reprise des activités de production en toute sécurité. Tandis qu'à l'échelle du territoire, elle consiste à la reconstruction des établissements et habitations touchées par l'aléa technologique.

1.3 Risques naturels majeurs

« Un risque naturel implique l'exposition des populations humaines et de leurs infrastructures à un évènement catastrophique d'origine naturelle » (Risques naturels - notre-planete.info, consulté le 25 janvier 2013).

Les aléas responsables des risques naturels peuvent être classés en deux catégories :

- les aléas géologiques, il s'agit de processus ou phénomènes naturels internes ou externes de la terre (NU et ISDR, 2009): les tremblements de terre, les tsunamis, l'activité et les émissions volcaniques, les glissements de terrain, les éboulements, les chutes de pierres ou avalanches, les sols gonflants et les lahars et les coulées de boue ;
- les aléas hydrométéorologiques, il s'agit de « processus ou phénomènes de nature atmosphérique, hydrologique ou océanographique » qui sont d'importants contributeurs aux aléas géologiques (NU et ISDR, 2009) : les cyclones tropicaux (les typhons et ouragans), les orages, les tempêtes de grêle, les tornades, les blizzards, les fortes chutes de neige, les avalanches, les inondations, la sécheresse, les vagues de chaleur et de froid.

La France peut être soumise à différents types de phénomènes naturels mais le risque naturel inondation constitue le premier risque naturel majeur vis-à-vis du nombre de populations exposées : deux millions de riverains sont concernés. En effet, pour 160 000 km de cours d'eau, une surface de

22 000 km² est reconnue particulièrement inondable. Le risque inondation concerne ainsi une commune sur trois dont 300 grandes agglomérations (MEDDE, 2004).

En termes de dommages, **les dégâts causés par les inondations représentent environ 80 % du coût des dommages imputables aux risques naturels, soit en moyenne 250 M€ par an** (MEDDE, 2004) : 4,7 milliards d'euros de dommages entre 1995 et 2005 (tableau 2) (Grislain-Letrémy et Peinturier, 2010).

Tableau 2 : Répartition du nombre de sinistres et des coûts en fonction des aléas naturels en France en 2006 (Grislain-Letrémy et Peinturier, 2010).

	Inondations	Sécheresse	Secousse sismique	Autres	Total
Nombre de sinistres	501 000	231 000	34 000	11 000	778 000
Coût total en millions d'euros 2006 (franchises incluses)	4 683	3 533	132	164	8 512

Un des enjeux du risque inondation est « l'entreprise ». Seulement au niveau du bassin versant de la Loire, plus de 19,300 entreprises sont situées en zone inondable (figure 3), soit environ 334,728 Millions d'euros de chiffre d'affaires cumulé est concerné par le risque inondation (EPL, consulté le 10 Novembre 2010). **Cela atteste de l'importance du nombre d'entreprises à protéger. D'où l'importance de gérer efficacement le risque naturel inondation à l'échelle de l'entreprise.**

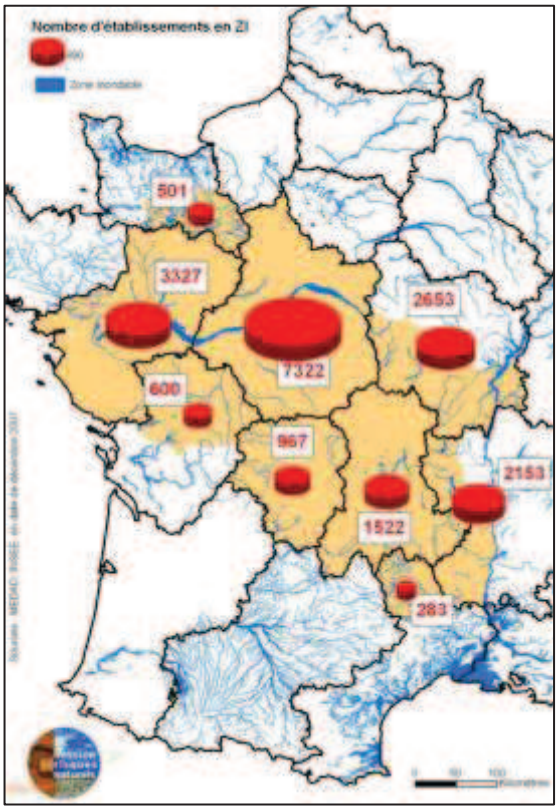


Figure 3 : Nombre d'entreprises situées en zone inondable sur le bassin versant de la Loire (EPL, consulté le 10 Novembre 2010).

Ces chiffres retrouvés régulièrement dans la littérature sur le sujet, démontrent de l'importance du phénomène. Ainsi, ce travail de recherche se focalisant sur le risque inondation, la suite de ce mémoire n'aborde que ce type de risque naturel.

1.3.1 Risque naturel inondation

Le risque inondation est la rencontre entre l'aléa naturel inondation et des enjeux humains, économiques ou environnementaux.

Une inondation peut être définie comme le débordement des eaux hors du lit mineur ; Les eaux occupent le lit moyen et majeur. En zone urbaine, les ruissellements dus à l'imperméabilisation des sols et au sous-dimensionnement des réseaux d'assainissement présentent une exception. Ainsi, la définition d'une inondation prend une dimension plus large pour devenir tout simplement « une invasion d'un territoire par les eaux » (Mengual, 2005).

Les conséquences d'une inondation sur des composantes d'un territoire peuvent être (Ledoux et Hubert, 1999):

- Sur les personnes : noyade, blessures, isolation ou déplacement ;
- Sur les habitats/ménages : dégradation des biens immobiliers et mobiliers ;
- Sur les activités industrielles, artisanales, commerciales : dégradation ou destruction des biens immobiliers et mobiliers, de l'outil de travail, des stocks;
- Sur les activités agricoles : dégradation ou destruction du siège d'exploitation, destruction des cultures et pertes de fonds, destruction du cheptel.

Ces conséquences dépendent de **l'intensité de l'aléa inondation** caractérisée par plusieurs paramètres. Six paramètres permettent d'appréhender les impacts sur les enjeux (MEDDE, 2004) (INERIS, 2004):

- **Le débit d'écoulement des eaux d'inondation** : il s'agit de la quantité d'eau (m^3) qui s'écoule en un point donné du cours d'eau ; il s'exprime en m^3/s. Ce débit influence la vitesse d'écoulement et la hauteur d'eau présentées ci-dessous.
- **La vitesse d'écoulement des eaux d'inondation** : Elle conditionne l'entraînement d'objets et de personnes et l'érosion des berges qui peuvent être à l'origine de phénomènes d'embâcles et de débâcles. Aussi, la vitesse des eaux peut être responsable de la fragilisation des constructions touchées par l'inondation. Les dégâts structurels peuvent aller jusqu'à la destruction complète de bâtiments.
- **La hauteur de submersion** : Il s'agit de la hauteur maximale atteinte par les eaux d'inondation. Cette hauteur conditionne l'endommagement direct des objets ou constructions touchés par les eaux en raison de l'action de l'eau et l'endommagement indirect dû à la pression statique exercée par les eaux.
  Il est important de mentionner que la dangerosité de l'écoulement dépend du couple (hauteur-vitesse) comme le démontre le tableau 3. Pour une hauteur identique et deux vitesses différentes, les dommages observés peuvent être radicalement différentes. Par ailleurs, c'est le couple hauteur-vitesse qui est utilisé pour la caractérisation de l'intensité de l'aléa inondation dans le plan de prévention du risque inondation (PPRI) (présenté ultérieurement) (tableau 4).

La hauteur d'eau résultant d'observation, de mesures ou de modélisation est, dans le cas général, appréciable avec une bonne fiabilité à 20 cm près. La vitesse d'écoulement, est en pratique très délicate à apprécier avec certitude car elle peut fortement varier sur des distances très courtes ; les études et modélisations réalisées présentent souvent une marge d'erreur pouvant dépasser 1m/s (sachant que la limite basse d'une vitesse dite forte est de 0,5 m/s). Une appréciation de la vitesse peut également être faite par l'intensité de la crue, donc par ses effets constatés en matière d'érosion des berges et de transport solide ou bien par l'analyse de retours d'expériences de dommages observés (Ledoux, 2000).

Tableau 3 : Présentation des dommages observés pour une hauteur d'eau identique et deux vitesses de courant différentes (Mengual, 2005).

		Vitesse du courant	
		10 cm/seconde	**1 m/seconde**
Hauteur d'eau	**50 cm**	Limite de déplacement debout pour un adulte sportif	Soulèvement des véhicules

Tableau 4 : Estimation de l'intensité de l'aléa en fonction du couple hauteur-vitesse (Garry et Graszk, 1999).

Vitesse **Hauteur**	**Faible** **(< 0,2 m/s)**	**Moyenne** **(0,2 – 0,5 m/s)**	**Forte** **(> 0,5 m/s)**
H < 0,5 m	Faible	Moyen	Fort
0,5 m < H < 1 m	Moyen	Moyen	Fort
H > 1 m	Fort	Fort	Fort

- **La durée de submersion** : correspond à la durée pendant laquelle une surface donnée reste inondée. Cette grandeur peut influencer l'intervention des secours.
- **La vitesse de montée des eaux :** il s'agit de la durée nécessaire à la crue pour atteindre son maximum. Ce paramètre limite les opérations d'urgence destinées à réduire la vulnérabilité de certains enjeux.
- **Le volume de matières transportées** (ou turbidité): matériaux transportés par suspension dans le cours d'eau ou bien par déplacement sur le fond du lit. La turbidité conditionne l'apparition d'embâcles et peut être responsable de chocs imputables aux matériaux transportés.

1.3.2 Gestion intégrée du risque inondation

La gestion intégrée du risque inondation suit les cinq étapes présentées dans le tableau 1. Une présentation des trois premières étapes de la gestion intégrée du risque naturel inondation à l'échelle d'un territoire est effectuée dans cette section. Les deux dernières étapes « Gestion d'intervention » et « Réhabilitation » étant similaires au cas du risque industriel (partie 1.2.2.4 et 1.2.2.5), elles ne sont pas présentées.

1.3.2.1 Prévention : Plan de Prévention du Risque Inondation (PPRI) et diagnostic de vulnérabilité

L'étape « Prévention » du cycle de la gestion intégrée du risque (figure 1) porte sur la modification de la nature de l'occupation des sols ainsi que la modification de la vulnérabilité des éléments physiques.

La modification de la vulnérabilité des éléments physiques (enjeux) envers le risque inondation est principalement basée sur des **diagnostics de vulnérabilité** des entités menacées par ce risque. Plusieurs diagnostics et guide de développement de diagnostics ont été développés ces dernières années pour aider certains types d'enjeux à faire face au risque inondation en évaluant leur vulnérabilité à ce risque et en adoptant des mesures de prévention efficaces pour la réduire. Ainsi, pour le cas particulier des installations industrielles (enjeux du risque inondation), ces diagnostics permettent d'évaluer la vulnérabilité de ces dernières au risque inondation et éventuellement agir pour la réduire. Plusieurs travaux ont développé de tels diagnostics, dont : (CEPRI et EPL, 2007) (Ledoux, 2000) (Mengual, 2005) (EPL, consulté le 10 Novembre 2010).

La modification de la nature de l'occupation des sols est basée sur la règlementation de l'usage futur du territoire. Le PPRI (Plan de Prévention du Risque Inondation) (Garry et Graszk, 1999) est l'outil le plus utilisé dans le cadre du risque inondation. Il règlemente la prévention des risques en délimitant les zones concernées par le risque inondation et en réglementant l'usage futur du sol dans ces zones. Il agit en maîtrisant l'urbanisation existante à proximité des cours d'eau et en interdisant ou limitant toute urbanisation nouvelle.

Ainsi, le PPRI opère également sur la réduction de la vulnérabilité des enjeux en imposant des prescriptions aux constructions situées en zone inondable : certaines mesures de protection et de sauvegarde et des dispositions particulières à la réduction de la vulnérabilité des enjeux situés dans des zones à risques peuvent y être préconisées.

A l'image du PPRT, la finalité première du PPRI est la protection de la population du risque inondation. Mais il possède également une autre finalité qui est l'information du public envers le risque inondation (partie « Planification » du cycle de la gestion du risque intégrée).

1.3.2.2 Protection : Mesures structurelles au niveau des cours d'eau

Afin de pouvoir réduire le risque inondation via des actions au niveau de l'aléa, il n'est pas possible d'agir, bien évidemment, au niveau de sa probabilité d'occurrence mais plutôt au niveau de son intensité. Jusque dans les années 1980, la lutte contre les crues se basait sur une éradication de l'aléa en adoptant des mesures structurelles de type barrage, digue, recalibrage. Or, ces mesures ont démontré leur inefficacité au fil des années à cause du sentiment de fausse sécurité et de l'augmentation du nombre des enjeux en zones menacées. Ainsi, la doctrine dominante se base sur des ouvrages de protection limités aux principaux enjeux, la gestion globale à l'échelle du bassin versant et la réduction de la vulnérabilité des enjeux. Il s'agit des grandes orientations de la politique de l'Etat en matière de gestion des zones inondables, traduites sous forme de la circulaire interministérielle du 24 janvier 1994 qui a suivi les inondations dévastatrices des deux dernières décennies : l'interdiction des implantations humaines dans les zones les plus dangereuses, la préservation des capacités d'écoulement et les champs d'expansion des crues en contrôlant l'extension de l'urbanisation et la

sauvegarde de l'équilibre des milieux en évitant tout endiguement non justifié par la protection de lieux fortement urbanisés.

1.3.2.3 Planification : Information préventive et plans de secours

i) Information préventive

Les documents relatifs à l'information préventive dans le cadre du risque inondation sont les mêmes que ceux utilisés pour le risque industriel (section 1.2.2.3i). Sans oublier l'AZI (l'Atlas des Zones Inondables) caractéristique du risque inondation. Il s'agit d'un document non réglementaire qui informe le public sur la localisation des zones inondables.

ii) Planification de la gestion de crise

Dans le cas du risque inondation, il existe des dispositions spécifiques ORSEC inondations qui sont mises en œuvre sur décision du préfet lorsque la nature des informations reçues indique de graves débordements des cours d'eau du département (ou à l'échelle zonale) pouvant mettre en péril la vie des populations. Leur but est de mobiliser et organiser tous les moyens publics et privés pour garantir la protection générale de la population.

Egalement à l'échelle zonale ou départementale, il existe un plan de secours spécifique au risque inondation, le PSSI (Plan de Secours Spécialisé Inondation). Il s'agit d'un plan d'urgence destiné à prévoir la coordination de l'action des secours lors des inondations, l'information des populations, le sauvetage des personnes et des biens en péril.

A l'échelle communale, le PCS s'applique aussi bien au risque industriel qu'au risque naturel (section 1.2.2.3.ii).

1.3.2.4 Synthèse sur les risques Naturels et Industriels

De ces premiers paragraphes sur les risques industriels et naturels, il est possible de déduire que :

L'installation industrielle est considérée comme un aléa technologique vis-à-vis du risque industriel et un enjeu vis-à-vis du risque naturel inondation (figure 4).

Cela met en exergue la possibilité d'accidents qui associent les deux types de risques et qui regroupent deux volets différents de la discipline du risque (d'où sa complexité). Comment peut réagir une installation industrielle si elle est menacée par l'aléa inondation ? Est-ce qu'une démarche de maîtrise de risques à la source (purement industrielle) suffit pour réduire les conséquences d'un accident déclenché par une inondation (industrie considérée comme aléa technologique)? Est-ce que l'utilisation d'un diagnostic de vulnérabilité au risque inondation permet d'éviter la génération d'accidents technologiques suite à l'inondation de l'entreprise (entreprise considérée comme enjeu vis-à-vis du risque inondation) ?

La partie suivante tente d'apporter des réponses à ces questions.

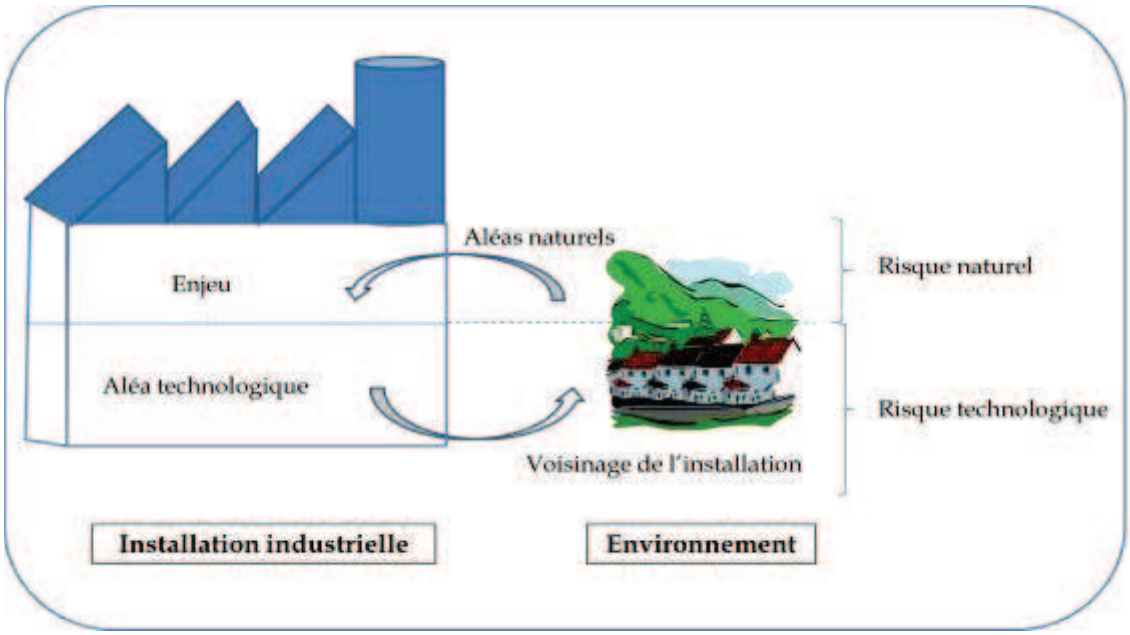


Figure 4 : Représentation de l'installation industrielle en tant qu'enjeu du risque naturel et aléa du risque technologique.

1.4 Accidents Natech : conjonction des risques naturels et industriels

Une observation des accidents industriels passés met en évidence que les aléas naturels peuvent déclencher des accidents technologiques (Kraussman et Mushtaq, 2008). L'interaction entre ces deux évènements, reconnus sous le terme « Natech », peut être responsable de conséquences dévastatrices sur les industries qui n'y sont pas bien préparées. Les inondations à travers l'Europe pendant l'été 2002 et les rejets de substances dangereuses multiples provoqués lors du séisme de Turquie en Août 1999 sont des exemples du danger potentiel des accidents Natech sur le voisinage des installations industrielles (Cruz et al., 2004a). Cependant, il y a très peu d'informations disponibles sur l'interaction entre ces aléas naturels et les accidents technologiques.

Cette partie présente un aperçu de la problématique des accidents Natech et une analyse de la prise en compte de ce risque dans les différents textes réglementaires.

1.4.1 Définitions

Si les études sur les accidents Natech ont commencé depuis 1994 avec Showalter et Myers (Cruz et al., 2004a), une définition spécifique et mondiale de ce terme n'existe toujours pas. Ceci fut une des premières remarques du discours d'Elizabeth Kraussman pendant son intervention à l'atelier de travail de l'OCDE (Organisation de Coopération et de Développement Economiques) portant sur la gestion du risque Natech qui a eu lieu à Dresde en Allemagne en Mai 2012 (Krausmann, 2012).

(Cruz et al., 2004a) définissent un accident Natech (Aléa naturel déclencheur de catastrophe technologique) comme une catastrophe technologique déclenchée par tout type de catastrophe naturelle. Ils ajoutent que la catastrophe technologique peut inclure les dommages aux installations industrielles contenant des substances dangereuses, à des grosses canalisations de gaz et de fuel, ou

encore à des systèmes vitaux, ayant des effets significatifs sur la santé, les propriétés des habitants et/ou l'environnement. Le terme Natech a été utilisé pour désigner un type d'accident ou aussi un type de risque. Aucune précision supplémentaire n'est donnée par rapport aux catastrophes technologiques prises en compte, aux catastrophes naturelles les déclenchant, ou bien à la nature des interactions entre ces deux évènements qui peuvent aboutir à un accident Natech.

Les études qui ont suivies, sur le thème des Natechs, apportent des précisions supplémentaires quant à sa définition.

Tout d'abord, l'interaction entre l'aléa naturel et l'installation industrielle devient plus claire : les aléas naturels sont capables de provoquer des dommages spécifiques aux installations industrielles. Ce sont les dommages pouvant déclencher des rejets de substances dangereuses qui sont intéressants, du fait que ces types de dommages sont capables de déclencher des accidents Natech (Cruz et Okada, 2008) (Steinberg et al., 2008) (Kon et al., 2010). Les accidents Natech sont en effet un type particulier d'accidents technologiques pour qui, la plupart du temps, des pertes de confinement de matières dangereuses sont observées.

Ainsi, (Steinberg et al., 2008) présentent directement l'accident Natech comme un type particulier d'accident technologique chimique. Selon ces auteurs "un accident chimique peut être dus à différentes causes primaires et secondaires tels que du matériel détérioré, une erreur humaine, une coupure du courant électrique. Cependant, une des causes des accidents chimiques commencent récemment à attirer l'attention ; il s'agit des aléas naturels déclenchant les accidents chimiques. Ce type d'accident est nommé Natech. Ce mot fut construit à partir de l'expression : catastrophe NAturelle déclenchant un accident TEchnologique ». Les auteurs ajoutent que le rejet de substances dangereuses peut se faire sous forme gazeuse ou liquide, ou sous forme d'incendie ou d'explosion. Ainsi, les types d'accidents technologiques que nous pouvons observer durant un accident Natech sont mentionnés. Ils ajoutent également que ce terme a été utilisé pour se référer à d'autres types d'accidents pouvant déclencher des accidents technologiques tel qu'une tempête hivernale responsable de la destruction d'une ligne d'électricité provoquant une coupure du courant électrique.

Egalement, Young et al. (2004) définissent directement les Natech comme les rejets de substances dangereuses causés par des défaillances technologiques déclenchés par des aléas naturels. Les dangers encourus par le voisinage de l'entreprise sont dus à l'exposition aux rejets de substances dangereuses ou des dangers secondaires tels que les incendies et les explosions résultant par exemple de l'ignition de substances inflammables rejetées. Ainsi, deux nouvelles notions sont prises en compte par cette définition : la notion d'exposition du voisinage de l'entreprise et celle de dangers secondaires (incendie et explosion résultant de l'ignition de substances inflammables rejetées). Aussi, une classification spécifique des rejets de substances dangereuses est effectuée :

- les rejets de substances dangereuses peuvent être directs et dépendent de la nature de l'aléa naturel comme par exemple: la dioxine dégagée suite aux feux de forêt. Aucune action de mitigation ne peut être entreprise permettant de prévenir de tels rejets.
- les rejets indirects ont lieu quand les circonstances technologiques en combinaison avec les évènements naturels déclenchent des rejets de substances dangereuses dans l'environnement. Les rejets indirects peuvent être divisé en intentionnels et non intentionnels.

- Les premiers sont effectués afin d'éviter des menaces plus graves de santé ; par exemple les insecticides utilisés après les inondations.
- **Les rejets indirects non intentionnels à leur tour ne sont pas planifiés. Ils sont le résultat d'accidents technologiques déclenchés par les aléas naturels et relèvent des Natechs.**

Ces accidents Natech qui peuvent avoir lieu à l'échelle industrielle sont les plus dangereux car ils peuvent provoquer une exposition humaine de masse et concernent généralement des matières dangereuses hautement toxiques. Aussi, (Young et al., 2004) mettent clairement en avant l'exposition du voisinage aux dangers des Natechs, permettant ainsi de distinguer trois composantes d'un accident Natech: l'aléa naturel, l'installation industrielle et son voisinage. En outre, les accidents Natechs, selon (Young et al., 2004) peuvent être prévenus au niveau du composant technologique où il est possible de proposer des mesures de prévention pour réduire ces rejets.

Le projet européen Integ-Risk (Kon et al., 2010), définit un accident Natech comme l'interaction entre des aléas naturels et les installations industrielles qui peuvent provoquer d'importants dommages aboutissant à d'importants rejets de substances dangereuses de contenants industriels, qui peuvent à leur tour induire des incendies, des explosions ou des dispersions toxiques. Ainsi, les accidents technologiques induits par les aléas naturels sont cités : il s'agit d'incendies, d'explosions et de dispersions toxiques.

Les différentes définitions montrent qu'un accident Natech est caractérisé par :

- Une interaction entre un aléa naturel et une installation industrielle : sous forme de dommages à l'installation industrielle. Les types de dommages concernés sont ceux qui sont responsables de rejets de substances dangereuses.
- Ces dommages peuvent provoquer des accidents technologiques : la pollution de l'environnent, les incendies et les explosions.
- Les conséquences des accidents technologiques peuvent porter atteinte à l'extérieur du site industrielle : aux habitants aux alentours, aux industries avoisinantes et à l'environnement.

Il est intéressant encore de citer la définition donnée par l'INERIS à un accident Natech (Aurélie Prévot, consulté le 17 janvier 2013) : « l'impact qu'une catastrophe naturelle peut engendrer sur tout ou partie d'une installation industrielle – impact susceptible de provoquer un accident, et dont les conséquences peuvent porter atteinte, à l'extérieur de l'emprise du site industriel, aux personnes, aux biens ou à l'environnement». Cette définition permet de distinguer entre différents types d'impacts causés par les aléas naturels en industrie et détaille le voisinage de l'installation industrielle touchée par l'aléa naturel : personnes, biens et environnement. Dans ce document, le risque relatif aux accidents Natech est désigné comme étant un risque conjointant deux catégories de risques, les risques naturels et les risques technologiques dont les dangers sont principalement liés au risque chimique.

Ainsi, dans ce mémoire, nous nous basons sur la définition suivante pour caractériser le risque Natech :

« Le risque Natech, résultat de l'interaction entre un aléa naturel et une installation industrielle, est l'impact que cet aléa naturel peut engendrer sur tout ou partie de l'installation – notamment sur les équipements industriels susceptible de provoquer un rejet de substances dangereuses et par la suite un accident technologique dont les conséquences peuvent porter atteinte, à l'extérieur de l'emprise du site industriel, aux personnes, aux biens ou à l'environnement ». Les accidents technologiques en question sont : les pollutions de l'environnement, les incendies et les explosions.

1.4.2 Problématique du risque Natech

L'analyse de (Cruz et al., 2004a) sur les différentes études portant sur le risque Natech démontre de l'ampleur de ces accidents. Ce rapport met en évidence que les aléas naturels peuvent déclencher des accidents technologiques multiples et simultanés susceptibles de provoquer de graves conséquences au niveau de territoires non préparés à de tels évènements.

1.4.2.1 Quelques chiffres clés Natech

Le tableau 5 représente le pourcentage d'accidents technologiques ayant pour cause un aléa naturel répertoriés dans la plupart des bases de données d'accidentologie industrielle. Ces bases de données recouvrent des accidents ayant lieu dans le monde entier. Le pourcentage des accidents Natech est faible (2 à 4%), mais leurs conséquences sont généralement très importantes sur le voisinage des installations industrielles.

Tableau 5: Pourcentage d'accidents Natech répertoriés dans différentes bases de données d'accidentologie industrielle (Cozzani et al., 2010).

Bases de données	Nombre total d'accidents	% d'accidents Natech
ARIA	30,859	2
FACTS	22,214	2
MARS	602	4
MHIDAS	7000	2

En illustration de l'ampleur des accidents Natech, le tableau 6 présente dans sa troisième colonne les quantités importantes de substances chimiques déversées dans le milieu naturel suite au tsunami du 11 mars 2011 qui a frappé le Japon (MEDDE, 2013).

Etant donné que le nombre de catastrophes naturelles a tendance à augmenter (figure 5) et que l'urbanisation est de plus en plus importante autour des installations industrielles, le risque Natech va avoir tendance à augmenter dans les années à venir (Young et al., 2004) (Cruz et al., 2004a) (Cruz et al., 2006).

Tableau 6 : Sites industriels à l'origine de déversements de substances chimiques dans le milieu naturel le 11 mars 2011 (MEDDE, 2013).

Activité industrielle	Localisation	Produit Volume perdu	Milieu touché extension de la pollution	Délais et moyens de dépollution mis en œuvre
Usine chimique	Toda/Saitama préfecture d'Ibaraki	HCl	Sol, rivière	< 24h
Station de traitement des effluents d'une usine	Préfecture de Fukushima	NaOH ; 3500 litres	/	/
Mine d'or et d'argent inactive sauf traitement des effluents et bassin de stockage des boues	Mine d'Oya à Kesennuma	Boues chargées en As ; 50 000 m^3	5 ha de sol (jusqu'à 200 ppm) rivière, nappe (jusqu'à 0,24 mg/l)	3 mois de nettoyage 2 ans de remédiation
Usine chimique	Port de Soma préfecture de Fukushima	NH_3 ; 120 t	Air, mer	1 mois
Fabrication de glace	Port d'Hachinohe préfecture d'Aomori	NH_3 ; 10 t	Air, mer	/
Usine automobile système de climatisation	Préfecture de Tochigi	Fluide frigorigène ; R 404 A ; 400 kg	Air	/
Usine automobile système de climatisation	Préfecture de Tochigi	Fluide frigorigène ; C 22 ; 3 000 kg	Air	/

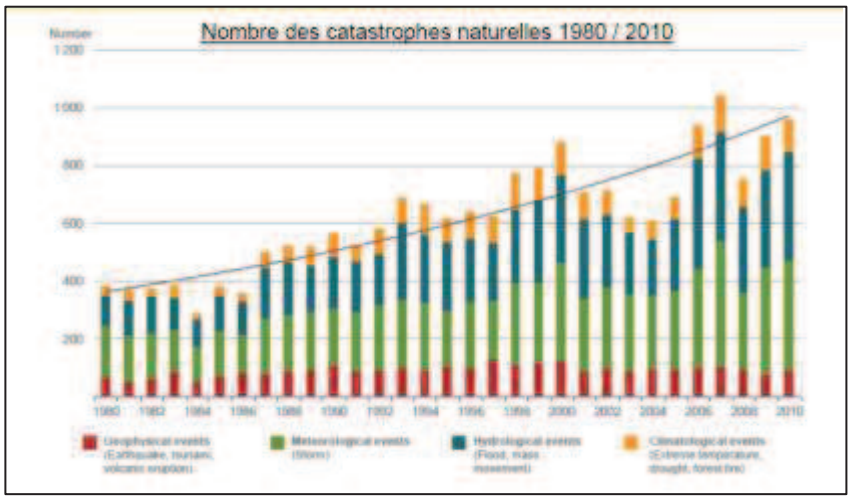


Figure 5 : Augmentation du nombre des catastrophes naturelles entre 1980 et 2010 (April entreprise, 2011).

La France est notamment concernée par le risque Natech inondation comme en témoigne une étude de sensibilité des sites SEVESO au risque inondation dans la région Provence Alpes Côte d'Azur (Esposito et al., 2006), menée par le CETE méditerranée (Centre d'Etudes Techniques du Ministère de l'Equipement). Cette étude montre l'étendue du problème Natech inondation dans la région PACA. Le but était d'informer les industriels des sites SEVESO des types de risque d'inondation auquel leurs installations sont soumises afin qu'ils soient pris en compte dans les études de dangers réalisées sous leur responsabilité comme cause potentielle d'accidents technologiques (Natech inondation). Sur les 82 sites SEVESO de la région, 77 sont concernés par un, deux, trois ou quatre types différents de risque inondations (figure 6). Les types d'inondations considérés sont : le débordement des cours d'eau, la crue torrentielle, le ruissellement, la stagnation, la rupture de digue et la rupture de barrage.

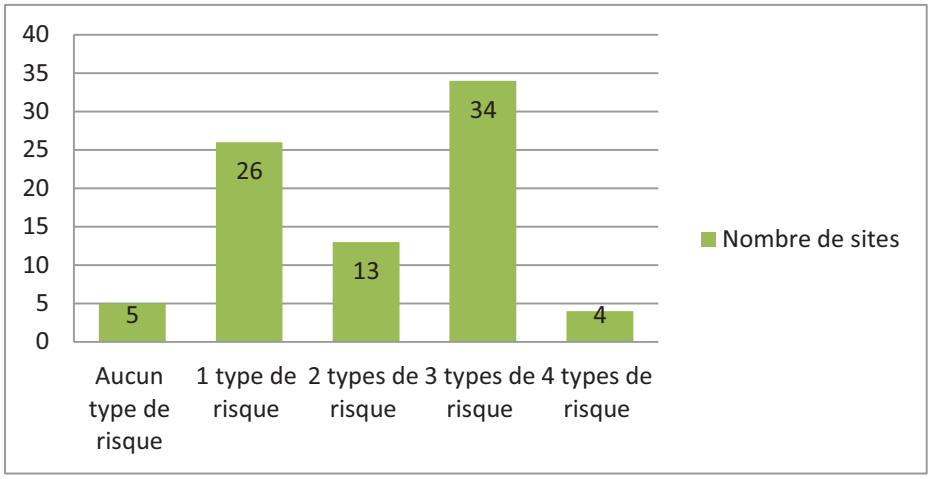


Figure 6 : Nombre de sites Seveso de la région PACA par nombre de types de risque d'inondation auxquels ils sont soumis (Esposito et al., 2006).

1.4.2.2 Exemples d'accidents Natech

Afin d'illustrer l'ampleur du problème Natech et la gravité des conséquences qui peuvent être observées sur le voisinage des installations industrielles, le tableau 7 présente quelques exemples d'accidents Natech, survenus dans le monde. L'analyse des références bibliographiques utilisées pour construire le tableau 7 met en évidence les points suivants :

- La plupart des accidents sont très peu détaillés ;
- Les dommages directs des eaux d'inondation sur les équipements industriels ne sont pas toujours mentionnés et quand ils le sont, ils ne sont pas détaillés. Ceci empêche la compréhension des causes des accidents technologiques ;
- Les accidents technologiques sont également cités sans explication détaillée de leurs mécanismes de génération. Ils sont pour la plupart des pollutions de l'environnement.

Ainsi, il est possible de remarquer que même si les accidents Natech sont assez rares (tableau 5), la gravité de leurs conséquences est très importante (tableau 7) : Il s'agit donc **de risque Natech majeur**.

Tableau 7 : Quelques exemples d'accidents Natech.

Aléa naturel	Date et Lieu	Eléments touchés par l'aléa	Dommages directs	Accidents technologiques	Source
Séisme	17 août 1999 en Turquie	Raffinerie	Effondrement d'un mur en béton	Plusieurs incendies qui ont persisté plusieurs jours dans les parcs de réservoirs de naphte	(Cruz et al., 2004a)
Inondation	Août 2002 en République Tchèque, Nératovice	Usine chimique « Spolana Chemical Works »	Réservoirs soulevés par l'eau et déplacés. déformation et soulèvement de la passerelle située au-dessus des réservoirs. arrachement de la valve du réservoir de chlore	Rejet de 400 kg de chlore	(Aria, consulté le 7 Novembre 2011)
Inondation	Août 2002 en Allemagne	Usine dont les détails ne sont précisés	Non précisé	Rejet de substances dangereuses dans la rivière Mulde	(Kraussman et Mushtaq, 2008)
Inondation	1993 et 1995 aux Pays-Bas, en France et en Belgique	Non précisé	Non précisé	Rejets de substances dangereuses, telles que du cadmium, du zinc, du plomb, du cuivre et des pesticides	(Young et al., 2004)
Séisme	1989, Nord de la Californie aux Etats Unies	Lignes de gaz et des usines dont les détails ne sont précisés	Rupture de 300 à 400 lignes de gaz	300 rejets de substances dangereuses telles que : des nettoyants, des insecticides, de l'hydroxyde de sodium, du cyanure, de l'ammoniac, de l'acide chlorhydrique, du gaz naturel, du monoxyde de carbone et de l'ammoniac. Blessures des travailleurs Empoisonnement d'habitants aux alentours du site	(Young et al., 2004)
Séisme	1999 en Kocaeli, Turquie	8% des installations manipulant des substances dangereuses	Non précisé	Rejets dangereux	(Steinberg et al., 2008)

Ouragan Katrina	2005, étude sur six états des Etats Unis	Plates-formes pétrolières, des navires et des usines dont les détails ne sont précisés	Non précisé	505 rejets de substances dangereuses dont 183 rejets par des plates-formes pétrolières et des navires 6 déversements d'huiles de plus de 10, 000 gallons Rejets d'hexane, d'ammoniac et d'acide sulfurique	(Steinberg et al., 2008)
Inondation	Date non précisée, à Saint Avold en Moselle, France	Inondation d'un bâtiment jouxtant un atelier de fabrication de conteneurs et poubelles en matières plastiques	Non précisé	Incendie d'origine électrique causant la destruction d'une partie du stock et de la toiture du bâtiment	(Ledoux, 2000)
Inondation	28 octobre 1988 à Dampniat en Corrèze, France	Atelier de traitement de bois	Non précisé	Déversement de 40 kg de produits (lindane de pentachlorophénate de sodium) dans la Corrèze Pollution du cours d'eau sur 14 km 15 tonnes de poissons morts	(Ledoux, 2000)
Séisme et tsunami	11 mars 2011, au Japon	Raffineries, centrales thermiques, dépots pétroliers, cimenterie, fermes agricoles, usines chimiques, stations de traitement des effluents, usines automobiles, usine de fabrication de glace, usine agroalimentaire	Submersion d'équipements industriels, destruction de stocks, affaissement des sols, perte d'utilités, dommages aux supports et fondations d'équipements, écroulement de fours, chute de cheminée, affaissement de tuyauteries, chute de murs et de plafonds	33,00 m3 de fioul et gazole déversés dans le milieu naturel Rejet d'acide chlorhydrique, 3500 litres d'hydroxyde de sodium, 130 tonnes d'ammoniac, 3400 kg de fluide frigorigène, 50 000 m3 de boues chargées en As provoquant la pollution du milieu naturel Rejet d'effluents sulfurés et de polluants organiques provoquant la pollution des eaux de surface Incendie prolongé et BLEVE dans une raffinerie	(MEDDE, 2013)

1.4.2.3 Complexité de la gestion du risque Natech

Le risque Natech est un risque émergent (Kraussman et Mushtaq, 2008) (Cruz et al., 2004a) (Kon et al., 2010), dont la gestion tant au niveau gouvernemental qu'industriel est délicate. En effet, **l'étude du risque Natech de par sa nature est complexe comme elle se situe à la conjonction entre deux volets de la discipline du risque : naturel et technologique (figure 4).**

La gestion de ce risque suit les cinq étapes de gestion intégrée du risque déjà présentées dans la figure 1. Afin de démontrer des différentes raisons de la complexité de la gestion de ce risque, une revue des difficultés observées au niveau de chaque étape de ce cycle à l'échelle d'un territoire est effectuée.

i) Prévention

La modification de la nature de l'occupation des sols s'effectue principalement par l'intermédiaire des outils de plans de prévention des risques.

Les PPRT et les PPRI sont analysés dans cette section vis-à-vis de la prise en compte de la problématique Natech inondation.

Le PPRT (Plan de Prévention du Risque technologique) se fonde sur les phénomènes dangereux les plus probables pour lesquels les populations ne peuvent être mises à l'abri dans le cadre des plans de secours (Aida, 2010) (Aida, 2005). Les phénomènes dangereux considérés les plus improbables sont exclus de cette règlementation dont:

- les phénomènes dangereux dont la probabilité est rendue suffisamment faible ;
- les risques technologiques induits par des aléas naturels (les risques Natech).

Dans le cadre du **PPRI**, les installations industrielles en zone inondable sont considérées comme des enjeux à l'égard du risque inondation et donc du PPRI. Dans certains cas, la reprise des mesures de réduction de vulnérabilité proposées dans le PPRI permet de réduire plus particulièrement le risque Natech inondation.

En effet, dans le cas où le PPRI a été approuvé à la suite de la construction des bâtiments, l'entreprise est tenue de réaliser les mesures de prévention imposées par le règlement du PPR, dans un délai de 5 ans à compter de la publication de l'acte approuvant ce plan (Ledoux, 2000). Mais il faut noter que, les mesures imposées par les PPR sur les biens existants sont en général en petit nombre et d'une portée limitée. Pour les installations futures, le PPR impose par contre des mesures qui peuvent être contraignantes telle que la construction des rez-de-chaussée au-dessus d'une cote de référence. Dans certains cas, une reprise des prescriptions du PPRI dans l'arrêté préfectoral règlementant le site industriel est observée.

En outre, le JRC (Joint Research Center) a initié des travaux sur un outil d'urbanisation spécifique pour les Natech, applicable aux installations industrielles à risques situées en zone menacée par des risques naturelles. Cet outil désigné « le Rapid-N » (Girgin et Kraussman, 2012) est exclusivement applicable aujourd'hui au risque Natech séisme. Il est également en cours de développement pour comprendre le risque Natech inondation. Il s'agit là d'un moyen de réduction du risque Natech en règlementant l'urbanisation autour de sites industriels concernés par ce risque.

ii) Protection :

En ce qui concerne l'étape « Protection » du cycle de la gestion intégrée du risque, la complexité de la prise en compte des phénomènes Natech à l'échelle de l'installation industrielle se manifeste à différents niveaux.

- **Les mesures de sécurité,** prises notamment à partir de l'étude de danger, sont conçues pour prévenir les accidents technologiques dans les installations industrielles, mais ne sont généralement pas faites pour prendre en compte les rejets de substances dangereuses déclenchés et simultanés aux catastrophes naturelles (Young et al., 2004) (Cruz et al., 2004a). Ces mesures **ne sont pas non plus conçues pour supporter l'impact d'un aléa naturel**.
- **En plus, la problématique Natech est peu abordée dans le monde scientifique et technique.** Bien que les accidents Natech soient rares, (Kraussman et Mushtaq, 2008) précisent qu'il existe un **manque d'informations détaillées sur l'occurrence d'accidents Natech**. Ceci est plutôt dû à un **manque de rapports standardisés d'accidents** (Cruz et al., 2004a) et non pas nécessairement à un manque d'accidents en tant que tel (illustré dans l'analyse du tableau 7). Cela rend difficile l'identification des mécanismes, des causes et des conséquences de ces accidents, notamment la fréquence et l'intensité des rejets de substances dangereuses provoqués par l'aléa naturel.
- Etant donné que, **l'étude du risque Natech se situe à la conjonction entre deux volets de la discipline du risque (naturel et technologique**), son évaluation et son appréhension mobilise les connaissances de plusieurs disciplines scientifiques : géosciences, génie civil, ingénierie en sécurité industrielle (Aurélie Prévot, n.d.) et SIG. Ceci rend à la fois complexe son analyse dans le monde scientifique mais également et surtout explique le manque d'expertise, de guides pour aider les industriels et les autorités dans leur politique de prévention et de protection vis-à-vis de ce risque.
- Les accidents Natech sont également problématiques du fait des **évènements en cascade** qui peuvent avoir lieu plus probablement durant une catastrophe naturelle que durant le fonctionnement normal d'une installation industrielle, vu que l'aléa naturel est susceptible de toucher plusieurs fonctions au niveau du site provoquant plusieurs défaillances simultanées. Ceci doit être pris en compte dans la préparation à de tels accidents augmentant la complexité de leur gestion (Aurélie Prévot, n.d.) (Cruz, 2003).
- Il ne faut pas oublier de mentionner **le manque d'informations relatives à la gestion du risque Natech à l'échelle réglementaire**. A titre d'exemple : l'analyse des lois en vigueur (notamment Loi N° 2003-699 du 30 juillet 2003, Décret N°2005-1466, 2010-1254, 2010-1255 et l'arrêté du 24 janvier 2011) montrent qu'elles ont pour objectif de s'assurer notamment que les sites industriels sont conçus et bâtis pour résister aux aléas naturels ; il y a très peu de lois qui régissent la performance de mesures non-structurelles et des interventions d'urgence pendant un accident technologique induite par une catastrophe naturelle (Cruz et Okada, 2008).

  Une revue de la prise en considération de la problématique Natech dans l'étude des dangers et les lois Seveso est effectuée dans les prochains paragraphes.

Prise en compte du risque Natech dans les études de dangers

Dans la circulaire DPPR/SEI2/CB-06-0388 du 28/12/06 (Aida, 2006) relative à la mise à disposition du guide d'élaboration et de lecture des études de dangers pour les établissements soumis à autorisation avec servitudes et des fiches d'application des textes réglementaires récent, la fiche n°8

intitulée « Traitement particulier de certains évènements initiateurs » porte sur la problématique Natech. L'objet de cette fiche est de définir les évènements initiateurs qui peuvent faire l'objet d'un traitement spécifique dans les études de dangers remises par l'industriel.

Le tableau 8 montre des éléments réglementaires spécifiques qui assistent l'industriel dans sa gestion de risque Natech induits par les aléas naturels séismes, foudre, neige et vent. Par contre, pour le cas des inondations, elles ne sont pas encadrées par un texte réglementaire spécifique aux ICPE. Mais plutôt des préconisations vagues sont fournis à l'industriel dans le cadre de sa gestion de risque Natech inondation.

Tableau 8 : Liste des évènements initiateurs concernés par la circulaire DPPR/SEI2/CB-06-0388 du 28/12/06, accompagnés des éléments réglementaires ou bonnes pratiques applicables (Aida, 2006).

Evènement initiateur	Eléments réglementaires ou bonnes pratiques à respecter
Séisme	Arrêté ministériel du 10 mai 1993 (remplacé par l'arrêté du 24 janvier 2001)
Effets directs de la foudre	Arrêté ministériel du 15 janvier 2008 et circulaire du 24 avril 2008
Crue	Dimensionnement des installations pour leur protection contre la crue de référence (telle par exemple que définie à ce jour dans le guide plan de prévention des risques inondations (PPRI) du ministère du développement durable). Une attention particulière sera portée aux effets indirects (renversement de cuves, perte d'alimentation électrique, effet de percussion par des objets dérivants)
Neige et vent (pour les chutes et ruines structures)	Règles NV 65/ 99 modifiée (DTU P 06 002) et N 84/95 modifiée (DTU P 06 006) NF EN 1991-1-3 : Eurocode 1 - Actions sur les structures - Partie 1-3 : Actions générales - Charges de neige (Avril 2004) NF EN 1991-1-4 : Eurocode 1 : Actions sur les structures - Partie 1-4 : Actions générales - Actions du vent (Novembre 2005)

Voici quelques précisions qui ont été notées : Dans le cas du risque industriel, **l'étude de danger** tient en compte de la gravité potentielle et de la probabilité d'occurrence des accidents. Cette étude doit justifier les mesures permettant de réduire la probabilité ou la gravité des accidents. Néanmoins, la circulaire DPPR/SEI2/CB-06-0388 du 28 décembre 2006 (Aida, 2006) précise que, pour le cas des évènements de probabilité d'occurrence très faible et de conséquences de très grande ampleur tels que les accidents Natech, l'étude de danger ne prend pas en compte la composante probabilité de l'aléa technologique du risque. Il s'agit de l'approche déterministe de la gestion de risque se basant sur les scénarios les plus majorant. Un respect de cette règlementation permet de considérer qu'une démarche de maîtrise des risques importante a été menée.

C'est le scénario d'accident correspondant à la crue de référence (la crue centennale) qui est considéré dans l'étude de dangers. Pour les crues d'amplitude supérieure, elles peuvent ne pas être prises en compte dans l'étude de danger en l'absence de règles ou instructions spécifiques (même si cet évènement externe est susceptible de conduire à des accidents majeurs).

Ainsi, les méthodes de gestion de risque Natech doivent a minima répondre à ces principes afin de démontrer de la conformité aux exigences règlementaires.

En outre, l'importance de la problématique Natech inondation prend plus d'ampleur au niveau des services de l'Etat. Ceci peut être illustré par la Circulaire du 15 Janvier 2004 « Actions nationales 2004 », à partir de laquelle le MEDDE sélectionne les thèmes sur lesquels l'inspection des installations classées est amenée à engager une action importante en 2004. Cette circulaire souligne « l'importance de prendre en considération les inondations possibles dans des études de risques

précises et de définir de manière préventive les mesures techniques et organisationnelles à mettre en œuvre dans les installations classées pour limiter les conséquences humaines, matérielles et environnementales ».

Prise en compte du risque Natech dans les lois SEVESO

L'Union européenne (UE) a adopté la directive dite «**Seveso II**» qui impose aux pays membres d'identifier les sites industriels à risques et prendre les mesures appropriées pour prévenir les accidents majeurs impliquant des substances dangereuses et limiter leurs conséquences pour l'homme et pour l'environnement. C'est sur cette directive qu'il faut se baser pour identifier l'ensemble des exigences relatives à la prévention des accidents chimiques à l'échelle européenne.

De façon similaire au cas de la législation ICPE, qui retranscrit par partie cette directive en droit français, la prise en compte du risque Natech doit être effectuée au niveau du rapport de sécurité. Ce dernier qui sert notamment à démontrer que les dangers liés aux accidents majeurs et les scénarios d'accidents majeurs éventuels ont été identifiés et que les mesures nécessaires pour les prévenir et pour limiter leurs conséquences pour la santé humaine et l'environnement ont été prises. La directive ne présente pas d'exigences spécifiques pour la gestion du risque Natech, ni de méthodologie ou de guide spécifiques à l'intention de l'industriel pour l'assister dans son processus de gestion de ce risque.

Cependant, plusieurs guides génériques ont été élaborés afin d'aider les membres de l'Union européenne à répondre aux exigences de la directive SEVESO II (MEDDE-Direction des risques accidentels, 2004). Bien que ces guides recommandent l'analyse des conséquences potentielles des accidents Natech, aucune méthodologie spécifique n'est donnée aux industriels leur permettant de gérer efficacement les risques Natech dont l'inondation. Les guides élaborés traitent en détails les causes de défaillances internes des accidents technologiques majeurs et passent très superficiellement sur les causes naturelles externes, dont les accidents Natech, qui sont et pour des raisons déjà citées assez complexes pour être considérés comme de simples accidents technologiques (MEDDE-Direction des risques accidentels, 2004). Ainsi, les problèmes particuliers associés aux accidents Natech tels que les défaillances simultanées peuvent être facilement négligés par l'industriel dans son processus de gestion de risque.

La directive Seveso II sera remplacée par la directive 2012/18/UE du 4 juillet 2012 dite directive Seveso III qui a été publié le 24 juillet 2012 au journal officiel de l'union européenne et qui entrera en vigueur le 1er juin 2015.

Dans **la directive « Seveso III »**, à la différence de la directive Seveso II, les **causes naturelles** (dont l'inondation) sont explicitement énoncées parmi les causes d'accidents à considérer, confirmant la pertinence du domaine des risques Natech et sa gestion à l'échelle de l'installation industrielle. Ainsi dans l'annexe 2 de ladite directive, « Données et informations minimales à prendre en considération dans le rapport de sécurité visé à l'article 10 », il est explicitement préciser que dans la partie « Présentation de l'environnement de l'établissement » du rapport de sécurité, l'exploitant industriel est dans l'obligation de décrire l'environnement de l'établissement industriel comprenant entre autres les données hydrographiques (susceptibles de constituer un risque d'inondation au niveau du site). Egalement, dans la partie 4 du rapport « Identification et analyse des risques d'accident et moyens de prévention », il est clairement énoncé que l'industriel doit effectuer une description détaillée des scénarios d'accidents majeurs possibles, que leurs causes soient d'origine interne ou externe à l'installation. Les causes naturelles sont citées comme causes particulières externes et les inondations sont données comme exemple.

Il est intéressant de noter qu'une attention particulière est donnée, dans la présente directive (article 21), aux échanges d'informations entre les Etats membres quant aux accidents majeurs survenus sur le territoire des Etats sous forme de bases de données. Ceci joue un rôle primordial pour fournir des informations sur les causes et les conséquences des accidents et identifier des mesures préventives efficaces permettant d'empêcher la reproduction d'un tel accident. Ces bases de données, si elles sont bien répertoriées, pourraient aider notablement dans l'évolution de la connaissance des mécanismes des accidents Natech ; sachant que le manque de retour d'expériences et de rapports d'accidents bien détaillés constitue une limitation importante dans le secteur des Natechs.

Une des problématiques de notre recherche peut être avancée à la suite de l'analyse réglementaire : **les textes règlementaires restent très généraux et ne proposent pas de démarche spécifique pour traiter la gestion du risque Natech inondation** dans les installations industrielles à risques.

Un questionnaire mené par le JRC (Krausmann, 2012) (European Commision-Joint Research Center d'Ispra, Italie) au niveau des pays membres de l'OCDE, a permis d'évaluer les pratiques de la gestion du risque Natech dans ces pays afin de mener des stratégies efficaces de gestion de ce risque. Les problèmes cernés portaient surtout sur **le manque de retours d'expériences** des accidents industriels passés et ayant comme cause des aléas **naturels** et **le manque d'assistance aux installations industrielles** sur la prise en compte des aléas naturels dans leur processus de gestion des risques.

Ces manques d'informations et d'assistance technique et réglementaire sur les accidents Natech ont contribué au manque de mitigation faisant face à de tels évènements et ainsi à une augmentation des dommages humains, économiques et environnementaux causés par ces accidents (surtout au niveau des territoires fortement industrialisés et urbanisés).

Cette absence d'assistance des industriels et la spécificité de ces risques nous ont permis de déduire que : **Les industriels doivent être sensibilisés et tenus au courant de l'importance du risque Natech**.

iii) Planification

Si l'aléa naturel est pris en compte dans les plans d'urgence, il n'est généralement pas considéré comme pouvant provoquer un accident technologique. Ainsi, les plans d'urgence décrivent l'organisation à mettre en place uniquement pour faire face à un accident technologique, voir éventuellement, pour parer à un aléa naturel mais rarement pour gérer la concomitance et l'interaction des deux phénomènes. Or forcément, cette concomitance va perturber l'opérationnalité des plans d'urgence (par exemple, des équipements prévus pour la lutte contre le sinistre technologique peuvent être rendus indisponibles par l'aléa naturel…).

A l'échelle industrielle, suite à la non considération que l'aléa naturel puisse provoquer un accident technologique, les industriels ont tendance à oublier durant la préparation de la gestion d'urgence des évènements importants spécifiques aux accidents Natech. Cruz et al. (2004b) précisent dans leur rapport que les processus de planification de situations d'urgence prennent en compte uniquement les menaces qui ont été identifiées. Ainsi, les exploitants industriels doivent prendre en compte l'ensemble des problèmes issus des accidents Natech afin qu'ils soient bien préparés à de telles catastrophes. Or, cet aspect de gestion et planification d'urgence n'a pas été suffisamment étudié et très peu d'assistance a été fournie aux industriels à cet égard. (Cruz et al., 2004b) précisent qu'il est intéressant de développer des plans d'urgence spécifiques aux accidents Natech.

iv) Gestion et Intervention

Les accidents Natech surviennent alors que **les efforts de mitigation et de secours** nécessaires peuvent être occupés par l'assistance à la catastrophe naturelle de grande étendue géographique aussi bien qu'à l'accident technologique déclenché. A noter que plusieurs accidents technologiques peuvent être provoqués par l'aléa naturel simultanément comme ce dernier touche l'ensemble des éléments d'un territoire. De même, le **personnel de sécurité,** au sein d'une installation industrielle, peut être préoccupé par des problèmes personnels suite à l'atteinte de ses propres biens par l'aléa naturel. Ceci peut poser des limites vis-à-vis des mesures de gestion d'urgence.

Les utilités telles que l'eau, l'électricité et les moyens de communication peuvent être indisponibles pendant la catastrophe naturelle. En revanche, les dommages aux utilités peuvent être des causes de rejets de substances dangereuses et également ils peuvent compliquer le travail de secours ayant besoin de ces utilités pour faire face aux rejets. (Akihiko et al., 2012) (Akihiko et al., 2010).

D'autres installations (secondaires) présentes au sein de l'établissement industriel, telles que les systèmes de refroidissement, les unités de réfrigération, les chaudières, etc… peuvent être endommagées par l'aléa naturel. Les dommages occasionnés peuvent avoir des effets incontrôlables sur les réacteurs ou les réservoirs de stockage déclenchant des rejets de substances dangereuses ou bien nécessitant un rejet intentionnel urgent de substances chimiques afin d'éviter une catastrophe.

v) Réhabilitation

Le retour à la normal suivant un accident Natech est beaucoup **plus difficile** que dans le cas d'un accident technologique classique, comme les conditions économiques et sociales d'un territoire peuvent être gravement altérées suite à la catastrophe naturelle (Steinberg et al., 2008).

1.4.3 Synthèse sur la gestion du risque Natech inondation

L'ensemble des constatations présentées dans la section portant sur la problématique Natech démontre que ces événements peuvent profondément déstabiliser des territoires et des sociétés.

En outre, dans le domaine des risques industriels (hors nucléaire), la question des Natech introduit une particularité qui est la nécessité d'étudier de façon conjointe deux catégories de risques majeurs: les risques naturels et les risques technologiques propres aux activités des ICPE (et parmi elles, les établissements dits « Seveso ») dont les dangers sont principalement liés au risque chimique – explosion, incendie, dispersion de gaz toxiques, pollutions des milieux. Par ailleurs, la démarche Natech diffère de l'analyse de risques technologiques classique par ses dimensions exceptionnelles : les phénomènes accidentels engendrés par les phénomènes naturels se produisent simultanément ; ces mêmes phénomènes naturels ne perturbent pas seulement le site mais aussi tout l'environnement extérieur (voie d'accès, alimentation électrique générale…) ; les systèmes de sécurité et les dispositifs d'intervention sont la plupart du temps défaillants ; les « effets dominos » sont fréquents.

Deux hypothèses de recherche ressortent de la section consacrée à la problématique Natech. La première concerne l'importance de la compréhension des mécanismes des accidents Natech. La seconde porte sur la gestion spécifique du risque Natech en industrie.

« H1 : Le manque d'informations portant sur les impacts potentiels des accidents Natech inondation résultent en un manque de mitigation faisant face à de tels évènements. »

Ainsi, les mécanismes de déclenchement de tels accidents doivent être élucidés plus clairement suite à l'identification des scénarios Natech à l'échelle du site industriel, afin de répondre à ces lacunes.

« **H2 : Les Natechs, qui sont certes une sous-catégorie de risques technologiques, ne doivent pas être gérés simplement comme un type particulier d'accidents technologiques. Le risque Natech doit être pris en compte indépendamment dans le processus de gestion des risques au sein d'une installation industrielle**. »

Enfin, comme le risque Natech inondation est la combinaison de deux risques : le risque inondation et le risque technologique, il est caractérisable par 3 piliers (figure 7) :

- L'inondation, aléa naturel constituant le risque inondation ;
- L'installation industrielle qui représente d'une part, l'enjeu du risque inondation comme elle est impactée par l'aléa inondation, et d'autre part, l'aléa technologique du risque technologique comme elle représente une source de danger potentielle suite à son inondation ;
- Le voisinage de l'installation industrielle, enjeu du risque technologique qui peut être touché par les conséquences de l'inondation de l'installation industrielle.

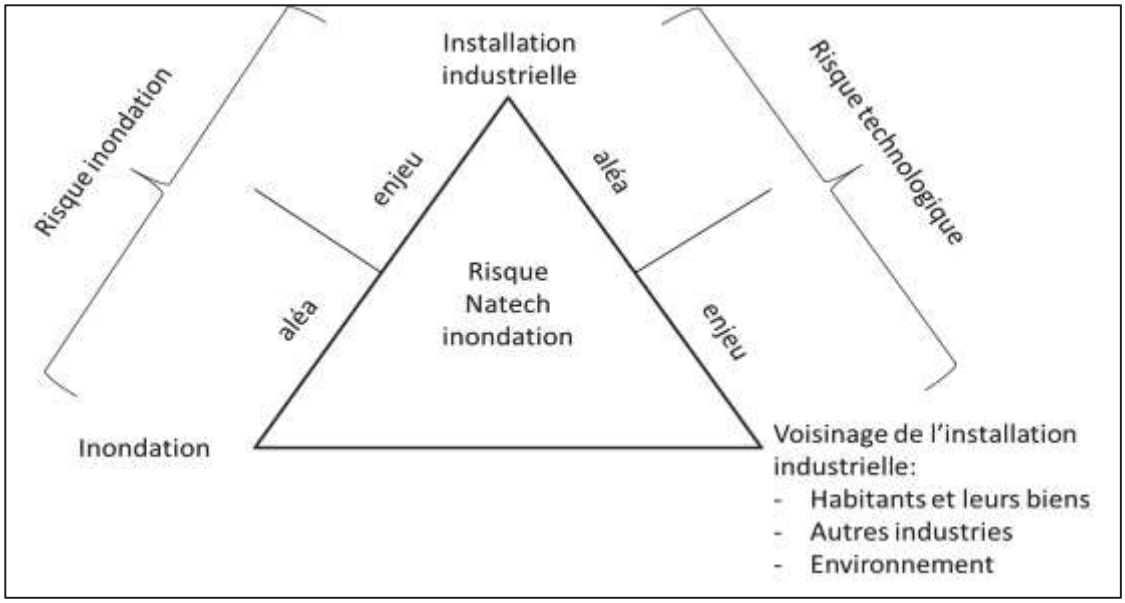


Figure 7 : Représentation du risque Natech inondation et de ses composantes par rapport aux risques naturel inondation et technologique.

Ainsi, afin de réduire le risque Natech inondation, il est possible d'agir au niveau de l'installation industrielle qui est l'enjeu du risque inondation (réduction de la vulnérabilité au risque inondation) et l'aléa du risque technologique (développement d'une méthodologie de réduction de risque à l'échelle de l'installation industrielle). Plusieurs méthodes répondant à ces deux objectifs existent déjà.

Cependant sont-elles adaptées ou prennent-elles efficacement en compte le risque Natech inondation? C'est ce que nous allons voir dans la partie suivante.

1.5 Méthodes de gestion des risques

Dans la partie 1.1.2, la définition et la gestion globale du risque majeur à l'échelle d'un territoire ont été présentées. Cette gestion dite intégrée des risques consiste à se focaliser sur la considération de l'ensemble des risques potentiels et l'intervention au niveau de l'ensemble des composantes d'un territoire.

Cette section présente la démarche générale suivie par la quasi-totalité des méthodes de gestion des risques utilisées par une composante du territoire, l'industrie, afin de gérer les risques potentiels à l'échelle industrielle.

1.5.1 Démarche générale de gestion des risques dans un contexte industriel

La norme ISO 31000 (AFNOR, 2010) définit le management ou la gestion des risques comme « les activités coordonnées dans le but de diriger et piloter un organisme vis-à-vis du risque ». Ainsi, le management des risques est un processus mis en œuvre en trois étapes (figure 8) : analyse des risques, évaluation des risques puis la maîtrise des risques.

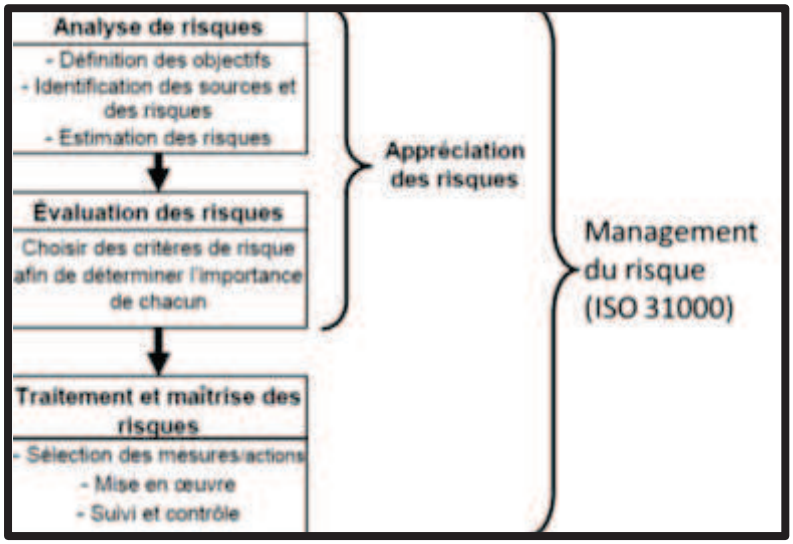

Analyse de risques
- Définition des objectifs
- Identification des sources et des risques
- Estimation des risques
Évaluation des risques
Choisir des critères de risque afin de déterminer l'importance de chacun
Traitement et maîtrise des risques
- Sélection des mesures/actions
- Mise en œuvre
- Suivi et contrôle
Appréciation des risques
Management du risque (ISO 31000)

Figure 8 : Processus de management du risque. Adapté de (Dassens, 2007).

Plus précisément, les trois étapes principales peuvent être décrites ainsi (figure 8) (AFNOR, 2010) (Tixier, 2002) (Gardes, 2001) (Dassens, 2007) :

1) **La phase d'analyse des risques ou phase d'identification et d'estimation :** Elle comprend la définition du système auquel la méthode va être appliquée, l'identification des sources et des risques et l'identification des mécanismes générateurs de risques (recherche des évènements redoutés, leurs causes et leurs conséquences et aussi l'analyse sous forme de scénarios d'accidents) ; L'estimation (qualitative ou quantitative du risque) peut être ensuite effectuée de trois façons :

- en s'intéressant aux conséquences de scénarios prédéfinis d'un point de vue des dommages (approche déterministe basée sur l'évaluation des conséquences- Partie gravité de la notion de risque),
- en s'intéressant aux probabilités d'occurrence d'accident-Partie probabilité de la notion de risque (approche probabiliste),
- en s'intéressant au couple (P ; G) c'est-à-dire qu'on estime le niveau de risque par la combinaison des deux paramètres, le niveau de gravité G de ses conséquences et l'évaluation de la probabilité d'occurrence du sinistre P.
  Il peut également être associé à ces paramètres, un coefficient de maîtrise ou de détectabilité qui tient compte des moyens mis en place pour limiter les risques. Ainsi, cette étape permet d'affecter des valeurs à la probabilité et aux conséquences d'un risque ;

2) **La phase d'évaluation des risques ou phase de hiérarchisation :** Elle permet de comparer le risque estimé dans la phase précédente avec des critères de risque donnés pour déterminer l'importance d'un risque. Ainsi, elle permet de prioriser les risques les plus sévères afin de les traiter en priorité. Elle se base sur la définition de critères de risque (seuil d'acceptabilité) permettant d'identifier les risques acceptables des non acceptables. Ces critères sont des termes de référence permettant d'apprécier l'importance des risques.
3) **La phase de traitement ou de maîtrise des risques** : Elle permet de réduire le risque suite à l'identification de solutions. Certaines de ces solutions peuvent être des barrières de sécurité reconnues plus récemment sous le terme de Mesures de Maîtrise des Risques (MMR).

Ce cadre général de gestion des risques dans un contexte industriel se décline concrètement via des méthodes de gestion des risques (Tixier, 2002) :

- des « méthodes simples » de gestion des risques qui peuvent être constituées d'une de ces étapes ; Exemple : Uniquement la première phase d'analyse des risques (mais il est généralement recommandé de les coupler avec des méthodes complémentaires).
- des « méthodes élaborées » sont constituées de plus d'une phase qui peuvent suffirent à elles-mêmes en fonction des objectifs établis et des types de résultats escomptés.

1.5.2 Catégories des méthodes de gestion des risques

Les méthodes de gestion des risques peuvent être classées suivant différentes typologies. Nous proposons, dans cette section, un classement de ces méthodes en se basant sur la bibliographie :

- **Les méthodes inductives/déductives** (Tixier, 2002)(Dassens, 2007): Les **méthodes inductives** se basent sur une observation des causes et des conséquences, l'analyste tente de découvrir tous les effets possibles à partir des causes identifiées (exemple : arbre d'évènements). Alors que les **méthodes déductives** se basent sur des faits observés pour déduire de nouveaux faits, tel qu'à partir d'un évènement final redouté construire les cheminements qui ont permis d'aboutir à celui-ci (exemple : arbre de défaillance).
- **Les analyses a priori/a posteriori** (Dassens, 2007): **Les méthodes d'analyse a priori** permettent une analyse des risques potentiels d'un système et l'évaluation des conséquences possibles afin soit d'empêcher l'apparition de l'évènement redouté soit d'en limiter les conséquences. Au contraire, **l'analyse a posteriori** suit un accident ou un incident qui s'est déjà produit, et consiste à rechercher l'ensemble des causes qui ont conduit à cet accident

(exemple : arbre des faits et diagramme d'Ishikawa). Cette dernière constitue la base de l'analyse des retours d'expériences d'accidents passés.

- Les méthodes déterministes/probabilistes/combinées (Tixier, 2002) et **les méthodes qualitatives /quantitatives**: Les méthodes probabilistes, déterministes et combinées sont décrites à l'aide de critères qualitatif ou quantitatif, du point de vue des résultats obtenus. En outre, une combinaison entre ces deux types de méthodes existe aussi.
  1) **Les méthodes d'analyse des risques déterministes** « sont basées sur l'évaluation des conséquences sur les personnes, les biens et l'environnement en termes d'effets » (Tixier, 2002).
  2) **Les méthodes d'analyse probabilistes** « sont basées sur l'estimation de la probabilité ou la fréquence d'apparition d'une situation dangereuse (exemple : probabilité d'une fausse manipulation) ou sur l'occurrence des conséquences d'un accident potentiel (exemple : probabilité d'occurrence d'un incendie suite à la fausse manipulation).
     Dans le cas des ICPE et pour les risques majeurs, ce sont souvent les scénarios d'accidents les plus majorants (l'intensité de l'aléa la plus importante) qui sont considérés. Cela traduit l'idée selon laquelle les conséquences du dysfonctionnement d'un système sont déterminées à l'avance par les causes de ce dysfonctionnement. Ainsi en prévoyant les conséquences les plus catastrophiques de la dérive d'un système (on parle de scénario majorant), et en y apportant les prescriptions d'ordre technique, organisationnel ou procédural, il est possible d'éviter ses conséquences en éliminant les causes. Cette approche trouve sa justification dans un besoin de se préparer à des situations catastrophiques, même les plus improbables (Mengual, 2005).
  3) **Les méthodes d'analyse combinées** comme son nom l'indique combinent les deux approches déterministe et probabiliste.
     Ainsi, la classification des méthodes d'analyse des risques est basée sur les types de résultats escomptés avec les critères qualitatif ou quantitatif et déterministe ou probabiliste. Donc si une méthode donne des résultats probabilistes alors elle est qualifiée de probabiliste. Un exemple de résultats qualitatif sont les recommandations, alors que les résultats quantitatifs peuvent être sous forme d'indices de niveau de risque.

1.5.3 Contraintes et besoins d'une méthode d'analyse des phénomènes Natech

Une méthode de gestion de risque, permettant d'étudier les mécanismes des accidents Natech inondation, doit remplir certaines conditions. Ces dernières ont été identifiées sous forme de contraintes à respecter et besoins à combler, en se basant sur l'étude bibliographique :

Contraintes 1

Il est pertinent que la méthode développée **suive les étapes formelles de gestion de risques classiques.** En effet, ce degré de formalisation permettra d'assurer une analyse plus complète et offre la possibilité d'intégrer cette méthodologie dans le processus de gestion de l'ensemble des risques au sein de l'industrie. Ceci facilite également la réutilisation de la méthodologie dans de futurs travaux de recherche.

Contrainte 2

Les informations portant sur la probabilité de dommages des équipements industriels par l'inondation ne sont pas encore fiables et nécessitent des recherches supplémentaires qui sont

actuellement en cours de développement. C'est pourquoi une **approche déterministe** doit être privilégiée. En effet, les méthodes d'analyse probabiliste s'appuient sur des probabilités obtenues à la suite de nombreuses observations. Dans le cas d'évènements rares aux conséquences très graves (cas du risque Natech inondation), de telles statistiques précises ne sont pas disponibles.

Ce manque d'information dans le cas du risque Natech inondation (notamment des données quantitatives comme des courbes de dommages par exemple) amène à privilégier **l'approche qualitative.** Il s'agit donc essentiellement de produire des analyses et des résultats qualitatifs sous forme de propositions (des recommandations, de propositions de procédures et de mesures de maîtrise de sécurité…) et de liste de sources de dangers, de causes, de conséquences, de dommages, d'activités critiques.

Besoin 1

Une méthodologie de gestion de risque Natech inondation à l'échelle d'une industrie doit **prendre en compte** d'une part **les causes externes de défaillances des systèmes industriels** pour inclure l'aléa inondation et d'autre **part l'environnement et les habitants aux alentours de l'entreprise comme potentielles victimes à protéger.**

Besoin 2

La méthode doit prendre en compte les spécificités d'un accident Natech inondation qui sont notamment la survenue de **défaillances simultanées provoquées par l'inondation dans le site industriel.**

Pour cela, il est notamment indispensable d'identifier les causes, conséquences et propagation des accidents qui sont pour l'instant inconnus pour le cas du risque Natech inondation. C'est pourquoi, la définition de **scénario types d'accidents s'appuyant sur un modèle d'accident simple et intuitif** semble pertinente. La construction de ces scénarios peut être basée sur une **analyse a priori et a posteriori**. L'analyse a priori nécessite de **définir le système industriel par exemple en adoptant l'approche systémique** afin de prendre en compte les différentes composantes du système aussi bien que leurs interactions qui sont potentielles sources de danger. Quant à l'approche a posteriori, elle peut s'appuyer sur une exploitation des **retours d'expériences** (exploitation indispensable des accidents passés causés par l'inondation d'industrie de différentes catégories d'activités), enrichie de réflexions sur les éventuelles défaillances qui peuvent être provoquées par l'inondation.

Les contraintes et besoins posés permettent de définir une sorte de cahier des charges. Il s'agit maintenant d'identifier parmi les méthodes de gestion de risques existantes, celles qui répondent au mieux à ce cahier des charges.

1.5.4 Méthodes

Un très grand nombre d'études de risques portent d'une part uniquement sur les risques naturels ou, d'autre part, sur les risques technologiques. Or, l'étude des phénomènes Natech nécessite des méthodes analysant de manière simultanée risque naturel et risque technologique.

Ainsi, dans cette partie du manuscrit trois catégories de méthodes sont analysées (figure 9):

1) Les méthodes développées pour **réduire le risque Natech inondation** au sein d'une installation industrielle, pour essayer d'identifier si une des méthodes existantes répond au cahier des charges préétabli sous forme de besoins et de contraintes. Il est important de noter que des méthodes de gestion d'autres risques Natech tels que les Natechs séismes existent également. Mais vu la spécificité des caractéristiques de chaque aléa naturel, elles se sont pas adaptées pour l'étude du risque Natech inondation. Nous en citons à titre d'exemple : (Krausmann et Cruz, 2013) (Norio et al., 2011) (Krausmann et al., 2010) (Santella et al., 2010) (Cruz et Krausmann, 2008) (Cruz et Steinberg, 2005) (Lindell et Perry, 1997) (United states environmental protection agancy, 1997)
2) Les méthodes développées pour **réduire le risque majeur technologique** au sein d'une installation. La prise en compte des causes externes de défaillances est particulièrement analysée ;
3) Les méthodes développées pour **réduire la vulnérabilité des installations au risque inondation.** La considération de la vulnérabilité aux accidents technologiques induits par les inondations est analysée de près.
   Le but est d'essayer de trouver dans ces deux dernières catégories de méthodes, s'il en existe une déjà existante qui réponde au cahier des charges précédemment établi et aussi de récupérer des éléments pouvant être utiles pour ce travail de recherche.

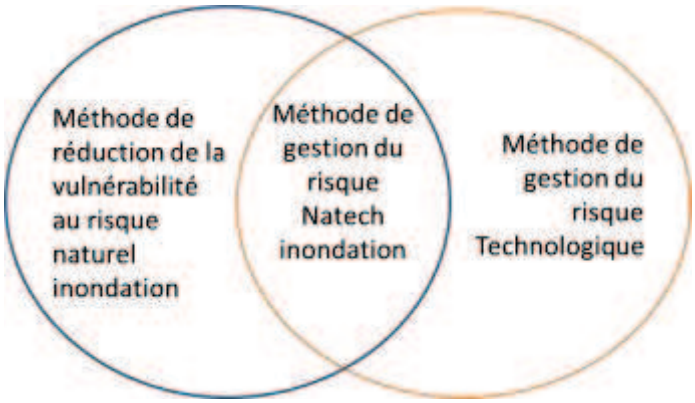

Méthode de réduction de la vulnérabilité au risque naturel inondation
Méthode de gestion du risque Natech inondation
Méthode de gestion du risque Technologique

Figure 9 : Méthodes de gestion du risque Natech : Combinaison des méthodes de réduction de la vulnérabilité au risque naturel inondation et des méthodes de gestion du risque technologique.

1.5.4.1 Méthodes de gestion du risque Natech inondation d'un site industriel

i) Outil RAPID-N

Le RAPID-N (en Anglais : Rapid Natech Assessment and Mapping Tool for earthquakes) (Girgin et Kraussman, 2012) est un outil informatique développé par le JRC (en Anglais : Joint Research Center) qui permet une analyse et une cartographie du risque Natech séisme. Comme indiqué précédemment, cet outil est en cours d'adaptation pour le risque Natech inondation. Il nécessite un nombre limité de données d'entrée. Son premier objectif est de pallier au manque de cartographie du risque Natech. Son second objectif est de répondre au besoin de préparation et de planification des situations d'urgence afin de prévenir le risque des accidents Natech et mitiger leurs conséquences. Afin d'atteindre ces objectifs, cet outil informatique se base sur une méthodologie d'évaluation de risques. Il s'agit d'une **méthode combinée quantitative** de cartographie du risque Natech séisme. La méthodologie commence tout d'abord par une identification des paramètres caractéristiques de l'intensité de l'aléa naturel séisme au niveau du site industriel. Ensuite, une utilisation de courbes de

fragilité (par équipement industriel et par type de dommage) permet de déterminer les probabilités de dommage des équipements industriels en fonction de l'intensité de l'aléa naturel. Ainsi en ajoutant la variable de probabilité, les types de dommages identifiés sont convertis en niveaux de risque. Ceci consiste à identifier les scénarios d'accidents les plus probables résultant des dommages aux équipements industriels déclenchés par le séisme. Enfin, la gravité des scénarios d'accidents est calculée afin d'identifier la distance pour laquelle les conséquences des accidents vont être observées. Les résultats de la méthodologie sont présentés sous deux formes :

1) des cartes de risque Natech montrant la probabilité des accidents Natech et les zones potentiellement affectés par l'évènement et,
2) des rapports résumant les résultats de l'évaluation du risque.

Une autre étude (Gladerisi et al., 2008) a été développée pour répondre au même objectif qui est la cartographie du risque Natech.

Points forts/points faibles de la méthode par rapport à nos besoins

L'outil peut être utilisé à différents niveaux d'une procédure générale de gestion du risque Natech. Il peut être utile pour évaluer les conséquences potentiels de différents scénarios Natech et ainsi développer des cartes de risques Natech utilisables pour l'organisation de l'urbanisation future des territoires et pour les planifications des situations urgence. **La méthodologie adoptée est assez générique et peut être ainsi utilisée pour évaluer le risque Natech dû à d'autres aléas naturels tel que l'inondation.** Les chercheurs au sein du JRC sont actuellement en train d'effectuer des analyses plus détaillées concernant l'aléa inondation afin de l'inclure dans l'outil. Les points faibles de la méthode par rapport à nos besoins sont présentés en parallèle avec ceux de la méthodologie d'Antoniono et al. décrite ci-dessous.

La même méthodologie utilisée pour l'élaboration du Rapid-N a été reconfigurée dans le rapport d'iNTeg-Risk (en Anglais : Early Recognition, Monitoring and Integrated Management of Emerging, New Technology Related Risks) (Kon et al., 2010). Dans ce rapport, les auteurs proposent une implémentation d'une méthode de gestion de risques qui inclue les risques Natech et la sécurité du site industriel.

ii) Méthodologie d'Antoniono et al.

La méthodologie développée par Antoniono et al. (Antonioni et al., 2009) (Campedel et al., consulté le 25 Janvier 2011) se base sur une **méthode classique d'évaluation de risques probabiliste et quantitative.** L'objectif de l'étude est de proposer une méthode d'évaluation du risque Natech inondation et séisme qui peut être intégrée dans l'évaluation quantitative classique de risques au sein d'une industrie (en anglais : QRA- Quantitative Risk Assessment). Pour cela les étapes suivantes sont préconisées dans le cas du risque Natech inondation:

1) **La première étape** est la caractérisation de l'aléa inondation par sa fréquence qui est la période de retour d'une inondation et par son intensité (hauteur et vitesse d'écoulement des eaux d'inondation).
2) **La deuxième étape** consiste à identifier les vulnérabilités au sein de l'installation industrielle : il s'agit des équipements « critiques » qui sont le plus fréquemment endommagés par une inondation selon l'analyse d'accidents Natech inondation passés.

3) **La troisième étape** consiste à identifier les types de dommages (damage state en anglais) qui peuvent être provoqués par différentes intensités d'inondation au niveau des équipements critiques, tels que : la rupture catastrophique ou la brèche du contenant. Ces types de dommages vont être responsables de rejets de substances dangereuses au niveau des équipements critiques. Chaque type de dommage est responsable d'une intensité donnée de rejets de substances dangereuses. D'où l'identification de trois catégories de rejets : R1, R2, R3. En se basant sur ces informations, les scénarios d'accidents peuvent être construits en utilisant la méthode des arbres d'évènement et ainsi, les phénomènes dangereux finaux peuvent être identifiés.
4) **La quatrième étape** consiste en une évaluation du risque Natech inondation qui est basée sur l'évaluation de la probabilité des phénomènes dangereux observés suite à l'inondation du site industriel. Dans le cas de cette méthode, l'accident technologique majeur déclenché par l'inondation est considéré comme un aléa technologique pour l'environnement de l'installation industrielle d'où l'idée d'évaluation de la probabilité de cet aléa. Il s'agit d'identifier tout d'abord les probabilités de dommages des équipements critiques.

   Pour ce faire, (Antonioni et al., 2009) ont construit un modèle de dommages simple en se basant sur l'analyse du retour d'expérience, sous forme de graphe reliant les probabilités de dommages des équipements critiques à l'intensité de l'inondation (hauteur et vitesse d'écoulement des eaux d'inondation). Aucune précision n'est donnée quant à la méthode adoptée pour la construction de ce modèle. Mais la limitation de ce graphe est bien mentionnée vu qu'il est basé sur des données limitées et non précises reportées dans des rapports d'accidents Natech inondation. Egalement, aucune précision n'est donnée sur les types d'équipements critiques pris en compte pour sa construction ni les types de dommages aux équipements pris en compte. Par contre, dans le cas des séismes, il existe plus d'informations bibliographiques sur le sujet et les données d'accidentologie reportées sont plus précises. Ceci peut être expliqué par la difficulté de mesurer les paramètres d'inondation à un point donnée de l'entreprise pour pouvoir estimer les dommages conséquents. Aussi leurs mesures sont la plupart du temps très imprécises (se référer à la partie expliquant les paramètres caractérisant l'inondation).
5) **La dernière étape** consiste en un calcul de la probabilité du phénomène dangereux final qui est effectué en combinant la probabilité de dommages de l'équipement et la probabilité du scénario déduite à partir de l'arbre des évènements. La méthode de calcul de la probabilité du scénario global, qui peut inclure l'atteinte de plusieurs équipements critiques simultanément et par la suite l'apparition de plusieurs phénomènes dangereux, est également présentée.

(Franchello et Krausmann, 2008) ont également développé des modèles de dommages d'inondations sévères touchant spécifiquement des installations industrielles.

Points forts/points faibles de la méthode par rapport à nos besoins

Cette méthode adoptée est en théorie très intéressante mais aucune information n'est donnée pour expliquer comment il est possible d'inclure cette évaluation du risque des accidents Natech inondation basée sur l'évaluation de la probabilité dans une méthode d'évaluation générale du risque au sein de l'installation industrielle (qui est l'objectif de leur travail de recherche).

D'autres points peuvent être relevés. La méthode porte uniquement sur les conséquences de l'endommagement des équipements critiques par les eaux d'inondation. Aucune analyse n'a été faite pour essayer de comprendre les causes provoquant ces dommages.

Enfin, la question suivante se pose : Serait-il vraiment nécessaire d'effectuer une analyse probabiliste quantitative assez complexe dans un secteur caractérisé par un manque important de données quantitatives précises ?

En effet, les deux premières méthodes de gestion du risque Natech inondation présentées (RAPID-N et Antoniono et al.) développent plus le risque d'accidents Natech séisme que celui d'inondation et portent sur des méthodes probabilistes quantitatives. Elles soulignent la difficulté, en ce qui concerne le risque inondation, de connaître les mécanismes de ces accidents ainsi que de relier les probabilités de dommages des équipements à des intensités d'aléa inondation. Ce qui prouve le fait que les recherches en termes d'accidents Natech séisme ont beaucoup plus évolué que celles de l'inondation. Ceci permet de déduire **qu'il est extrêmement difficile jusqu'à présent d'effectuer une analyse quantitative et une estimation de ce risque** vu la difficulté d'estimer la probabilité d'endommagement des équipements industriels suite à l'inondation ainsi que la gravité des conséquences de ces accidents. Un travail sur l'analyse des causes provoquant les dommages permettrait de compléter ces études et apporter des éléments de prévention aux accidents Natech.

iii) Méthodologie d'évaluation des risques simplifiée pour une évaluation préliminaire de la vulnérabilité des industries au risque Natech inondation

Etant conscient de la complexité des accidents Natech, (Rota et al., consulté le 7 Novembre 2011) ont effectué une analyse multicritère en utilisant la méthode AHP (Analytic Hierarchy Process). Son objectif est d'estimer la vulnérabilité d'un site industriel aux accidents Natech inondation. Une analyse détaillée du risque Natech inondation nécessite un recueil important d'informations telles que les détails des structures et des bâtiments du site et la modélisation détaillée de l'inondation. Ces informations sont difficiles à trouver même lorsqu'une installation industrielle à risques est concernée par l'inondation. Ainsi, (Rota et al., consulté le 7 Novembre 2011) précisent **qu'il est irréaliste** (surtout dans le cas de PMI) **de développer une analyse de risques probabiliste quantitative dans le cadre d'un processus de gestion du risque Natech inondation à l'échelle industrielle. Il existe une demande plutôt pour des méthodes de gestion de risques plus simplifiées permettant d'effectuer une estimation de la vulnérabilité du site industriel au risque Natech inondation.** Les résultats de cette analyse permettront de décider quand et à quel niveau une évaluation de risque plus détaillée est nécessaire. Il s'agit du but du travail de (Rota et al., consulté le 7 Novembre 2011) qui vise à développer une méthodologie d'évaluation des risques simplifiée pour une évaluation préliminaire de la vulnérabilité des industries au risque Natech inondation.

(Rota et al., consulté le 7 Novembre 2011) présentent la méthode AHP comme une méthode permettant de décomposer un problème de décision complexe en une hiérarchie de sous-systèmes, puis en critères auxquels un poids est attribué facilitant ainsi le processus de prise de décision en fonction de différentes alternatives identifiées. Ainsi dans le cas de Natech inondation, les dommages occasionnés à la cible en question (objectif de l'AHP), qui n'est autre que l'environnement du site industriel, dépendent des caractéristiques de l'inondation et des caractéristiques de l'industrie (figure 10). A ces caractéristiques représentées sous forme de critères, des poids peuvent être attribués, en fonction des alternatives données à chaque critère, qui sont ensuite regroupés sous forme de KPI (en anglais, Key Performance Indicator). Ces KPI permettent de comparer différentes solutions possibles. Cette méthodologie qui nécessite encore plus de validation permettra **d'identifier certains points critiques ou points forts sur lesquels il faudrait agir pour réduire la vulnérabilité du site au risque Natech inondation.**

Points forts/points faibles de la méthode par rapport à nos besoins

Le point fort de cette méthode par rapport à notre problématique est le fait qu'elle **propose une méthode de gestion de risques simplifiée permettant d'effectuer une estimation de la vulnérabilité du site industriel au risque Natech inondation afin de** décider quand et à quel niveau une évaluation de risque plus détaillée est nécessaire (sans rentrer dans les détails d'une analyse probabiliste quantitative). Par contre, la méthode n'est pas encore achevée et nécessite encore plus de validation.

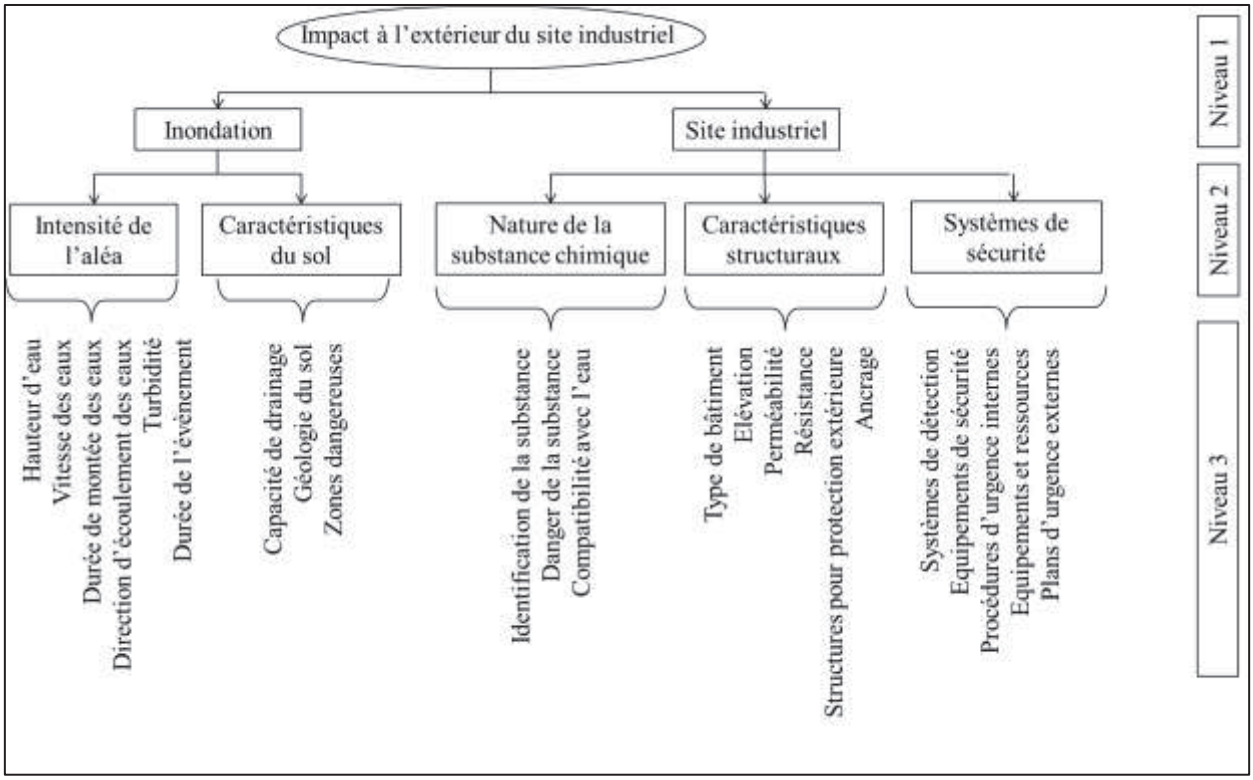


Figure 10 : Décomposition hiérarchique de l'objectif de l'AHP « Dommages occasionnés à l'environnement du site industriel » (Rota et al., consulté le 7 Novembre 2011).

iv) Guide pour la prise en compte du risque inondation

En réponse aux prescriptions des études de danger mentionnées dans la législation ICPE, L'INERIS a développé le « Guide pour la prise en compte du risque inondation » dans le cadre d'une méthodologie d'analyse de risques au sein de l'entreprise (INERIS, 2004)**.**

Ce guide est constitué de trois étapes qui ne sont autre que des **étapes conventionnelles d'une méthode de gestion de risque** (tableau 9).

- La première étape requiert la caractérisation de l'aléa de référence (approche déterministe), parmi les divers types d'aléas inondation: crues de cours d'eau, submersions marines (tsunami, tempête), remontée de nappes phréatiques, ruissellement de pluies, défaillance d'ouvrages hydrauliques. Les deux paramètres importants à considérer pour le phénomène inondation sont la hauteur et la vitesse de l'eau.
- La seconde étape consiste en une identification des vulnérabilités au risque Natech inondation et la réalisation ainsi d'une analyse préliminaire des risques du site (identification des zones

impactées, identification des installations touchées, identification des phénomènes dangereux). Ensuite, des séquences accidentelles (scénarios d'accident) sont construites. L'outil nœud papillon est préconisé pour le développement de ces scénarios.

- La troisième étape aboutit à une étude détaillée de réduction des risques ; cette étude examine les barrières de sécurité à mettre en place afin de réduire le risque.

Tableau 9 : Les trois étapes de gestion de risque Natech inondation du « Guide pour la prise en compte du risque inondation ». Adapté de (Vallée et al., 2011).

Etapes de la méthode	Description
Caractérisation de l'aléa inondation de référence	Les deux paramètres à considérer pour le phénomène inondation: la hauteur et la vitesse d'eau.
Identification des vulnérabilités au risque Natech inondation	En effectuant une analyse préliminaire des risques sur le site industriel: -Identification des zones impactées sur le site -Identification des installations touchées -Construction des scénarios d'accidents/installations industrielles en utilisant le nœud papillon -Identification des phénomènes dangereux
Etude détaillée de réduction des risques	Proposition de Mesures de Maîtrise de Risque et Evaluation de leur performance

Points forts/points faibles de la méthode par rapport à nos besoins

Un avantage de la méthode est le fait qu'elle suit les étapes classiques d'une méthode de gestion de risque. Egalement, elle permet d'identifier le risque Natech inondation en identifiant ces deux composantes : l'aléa inondation et les installations industrielles concernées par cet aléa.

L'inconvénient de la méthode par rapport à nos besoins est le fait que l'industriel est lui-même amené à élaborer ses scénarios d'accidents en utilisant le nœud papillon. Cet outil est jugé comme étant coûteux en termes de temps et parfois complexe pour une utilisation par des non spécialistes du domaine du risque.

v) Conclusion sur les méthodes de gestion du risque Natech inondation

L'analyse des méthodes de gestion du risque Natech inondation à l'échelle industrielle met en évidence qu'il existe quelques rares méthodes permettant l'analyse du risque Natech. Ces méthodes se rattachent plutôt à l'analyse du risque Natech séisme (Cruz et al., 2011) et elles nécessitent des

validations supplémentaires. **Actuellement et à notre connaissance, aucune méthode assez consolidée n'existe pour l'analyse du risque Natech inondation.**

1.5.4.2 Méthodes de gestion du risque technologique d'un site industriel

La plupart de ces méthodes ont comme but de gérer les risques technologiques en industrie, certaines prenant en compte de façon très générale les sources de danger externes. Le but de la présentation des méthodes n'est pas de lister exhaustivement toutes les méthodes existantes. En effet, plusieurs ressources bibliographiques les recensent d'une manière assez complète, telles que (Flaus, 2013) (Dassens, 2007) (Tixier, 2002) (Bernuchon et al., 2006). A l'aide de ces ressources, un premier choix de trois méthodes a été réalisé. Dans les paragraphes qui suivent, ces trois méthodes sont développées, en précisant leurs avantages et leurs limites par rapport aux besoins de cette étude.

Les trois méthodes présélectionnées sont :

- **MADS/MOSAR** et **ARAMIS** qui, selon (Dassens, 2007), sont des nouvelles méthodes intégrées complètes d'analyse de risques visant à aider les acteurs de la prévention dans l'analyse des risques en suivant une démarche spécifique. La première est une méthode pour l'analyse de risques en industrie basée sur les principes de la systémique. La deuxième est basée sur la proposition de scénarios d'accidents qui sont eux-mêmes basés sur une analyse de retour d'expériences ;
- La méthode de gestion de risques préconisée dans le cadre des **études de dangers** des ICPE est également choisie afin d'analyser les travaux utilisés dans le cadre réglementaire.

i) Méthode MADS/MOSAR

La méthode MADS/MOSAR (Méthode Organisée et Systémique d'Analyse des Risques) a été développée par (Périlhon, 2007) du Commissariat à l'Energie Atomique (CEA) en collaboration avec des universitaires de Bordeaux (Périlhon, 2007).

Cette méthode repose sur deux principes qui structurent l'ensemble de la démarche (Dassens, 2007):

- Une approche systémique : Sont considérés le système à étudier, son environnement extérieur et ses interactions avec les autres systèmes. Si le système est trop important, on le décompose rigoureusement en sous-systèmes. Ceci permet une analyse de risque assez exhaustive. Le système à étudier est inclus dans un contexte présentant plusieurs sous-systèmes permettant de prendre en compte les interactions entre le système à étudier, son environnement et les autres sous-systèmes (figure 11) ;

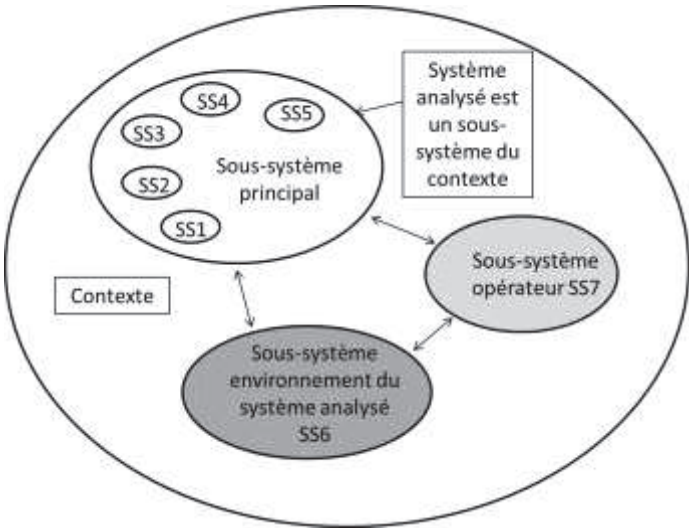


Figure 11 : Décomposition du contexte d'étude selon la méthode MOSAR. Adapté de (Périlhon, 2007)**.**

- Un processus de danger : qui est le modèle de base pour analyser les sources de danger potentielles intrinsèques au système. Il s'agit du modèle d'accident MADS (Méthodologie d'Analyse des Dysfonctionnements des Systèmes) qui sert à **expliciter les différents mécanismes d'un accident**. **Un modèle d'accident étant une représentation visant à formaliser le processus de déroulement de l'accident.** Le modèle MADS « définit l'accident comme un évènement non souhaité résultat de l'atteinte d'une ou plusieurs cibles de danger par un flux de danger lui-même issu d'une source de danger. Des évènements internes ou non au système étudié peuvent aggraver la situation » (Gardes, 2001) (figure 12).

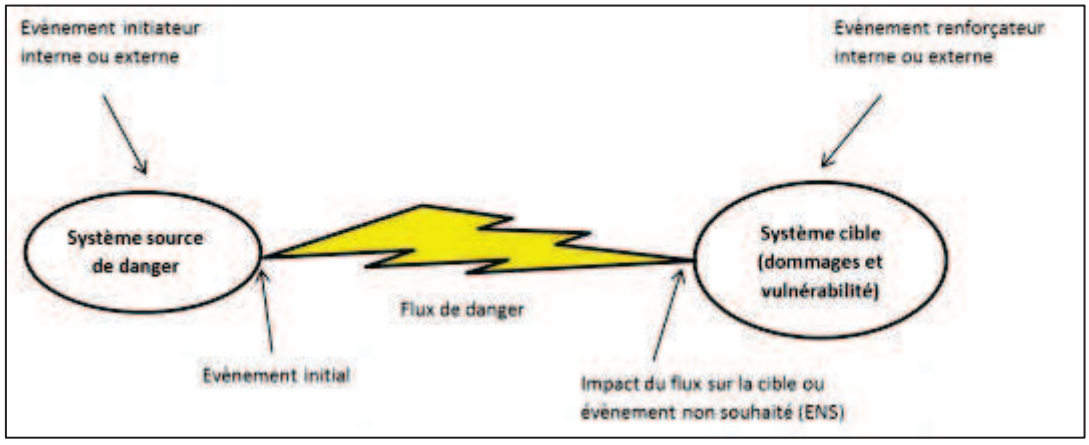

Evènement initiateur interne ou externe
Evènement renforçateur interne ou externe
Système source de danger
Flux de danger
Système cible (dommages et vulnérabilité)
Evènement initial
Impact du flux sur la cible ou évènement non souhaité (ENS)

Figure 12 : Modèle MADS (Périlhon, 2007).

Ce modèle montre l'enchaînement des évènements qui, à partir de l'évènement initiateur, conduit à un changement d'état de la cible (Périlhon, 2007) (Grandamas, 2010). Il repose sur plusieurs notions présentées dans l'encart 1.

Encart 1 : Le modèle MADS repose sur plusieurs notions :

- de système source : système à l'origine des flux de danger ;
- de système cible : système sensible aux flux de danger et subissant des dommages ;
- d'évènement initial : évènement qui caractérise le changement d'un système qui passe d'un état ou d'une situation normale à un état ou une situation défaillante ;
- d'évènement initiateur (interne ou externe) : évènement qui peut initier l'occurrence de l'évènement initial ;
- de flux de danger (ou évènement principal) : flux généré par l'occurrence de l'évènement initial et qui peut produire des effets sur la cible ;
- d'évènement non souhaité : ensemble de dysfonctionnements susceptibles de provoquer des effets non souhaités sur les systèmes cibles ;
- d'évènement renforçateur : évènement qui accroit la vulnérabilité de la cible ou augmente les effets.

En outre, l'objectif de la méthode MOSAR est de rechercher les dysfonctionnements techniques et opératoires d'une installation ou d'un procédé dont les enchaînements peuvent conduire à des évènements non souhaités. L'identification des scénarios d'accident permet le choix, la mise en place et la validation de barrières de sécurité adéquates. Elle est constituée de deux modules (A et B) et suit les étapes classiques d'une analyse de risque d'une façon assez claire.

Points forts/points faibles de la méthode par rapport à nos besoins

Un **des avantages** de la méthode est son approche systémique permettant de considérer les différentes parties d'une installation industrielle en interaction entre elles et avec l'environnement. Cela permet une analyse de risque exhaustive et complète.

Egalement, les sources de danger propres à chaque problématique de gestion de risque peuvent être redéfinies (Dassens, 2007). Un exemple est la tentative de la modélisation d'une inondation à l'aide de la méthode MADS/MOSAR qui a été effectuée dans le cadre du projet Quater INTERMED III (Périlhon, 2005). La méthode peut ainsi s'adapter aux risques Natech.

Un point faible de la méthode MOSAR est le fait que son application nécessite le regroupement de spécialistes des différents sous-systèmes de l'installation industrielle (Gardes, 2001)**.** Gardes (2001) a également noté plusieurs difficultés pour le groupe de travail appliquant MADS/MOSAR au sein de l'industrie dont : la difficulté de l'intégration de MADS en détail (problème de confusion entre évènements et flux) et une exploitation difficile des scénarios longs issus des retours d'expériences. Ainsi, l'application de la méthode peut être parfois difficile par des non spécialistes du domaine du risque.

Un autre point faible est le grand nombre de scénarios d'accidents obtenus suite à l'application de la méthode, qualifiés par (Gardes, 2001) « d'explosion de scénarios ». Cela peut créer une confusion durant le processus de développement de scénarios ainsi qu'une consommation de temps importante.

ii) Méthode développée dans le cadre du programme de recherche européen ARAMIS

Cette méthode développée dans le cadre du programme de recherche européen **ARAMIS (Accidental Risk Assessment Methodology for Industries in the framework of Seveso II directive)** (MEDDE-Direction des risques accidentels, 2004) concerne plus spécifiquement **une**

analyse de risques pour la prévention des accidents technologiques majeurs en industrie. Elle a pour objectif de développer une méthodologie expérimentale d'évaluation des **risques** dans le cadre de l'application de la directive SEVESO II.

Ce programme européen avait plusieurs objectifs (IDDIR, consulté le 15 Mai 2011):

- Le développement d'une méthodologie précise et harmonisée d'analyse de risque pour les études de dangers, dans le contexte de l'application de la directive Seveso II ;
- L'identification des principaux phénomènes accidentels majeurs en utilisant la représentation sous forme de nœud papillon et leur qualification en utilisant une appréciation de la probabilité et de la gravité ;
- l'évaluation de la performance des barrières de sécurité liées à la prévention des phénomènes accidentels ;
- l'identification de la vulnérabilité de l'environnement des sites.

Afin d'atteindre ces objectifs trois étapes ont été proposées (MEDDE-Direction des risques accidentels, 2004):

- une opération A-0 de sélection des équipements critiques sur un site industriel ;
- une opération A-1 qui présente une méthode d'identification systématique des scénarios d'accidents et propose une série de scénarios d'accidents majeurs types (MIMAH : Methodology for the Identification of Major Accident Hazards) ;
- Une opération A-2 qui présente une méthode pour la définition des scénarios de référence (MIRAS : Methodology for the Identification of Reference Accident Scenarios) en proposant un outil d'aide au choix des scénarios élaborés dans l'étape précédente.

Points forts/points faibles de la méthode par rapport à nos besoins

Ainsi, **les points forts** de cette méthodologie sont tout d'abord **la proposition d'une liste d'équipements et d'évènements jugés critiques au sein de l'industrie vis-à-vis des accidents majeurs**, ce qui permet de restreindre l'analyse de risque à certains composants critiques de l'installation industrielle. Ensuite, **des scénarios d'accidents sont développés sous forme de nœuds papillons par équipement critique, ce qui permet d'organiser l'analyse de risques et d'effectuer la réduction du risque par équipement**. L'industriel pourra les utiliser et les modifier afin de développer ses propres nœuds papillons en fonction des caractéristiques de son entreprise.

Les arbres d'évènements, quant à eux, reprennent les enchaînements d'accidents technologiques « classiques » en fonction du groupe de danger des substances chimiques et des conditions particulières en l'industrie.

Par ailleurs, **un point faible** de la méthode est le fait que les causes d'accidents développés portent surtout sur les défaillances techniques internes et les causes d'accidents déclenchés par une inondation ne sont que superficiellement pris en compte (figure 13).

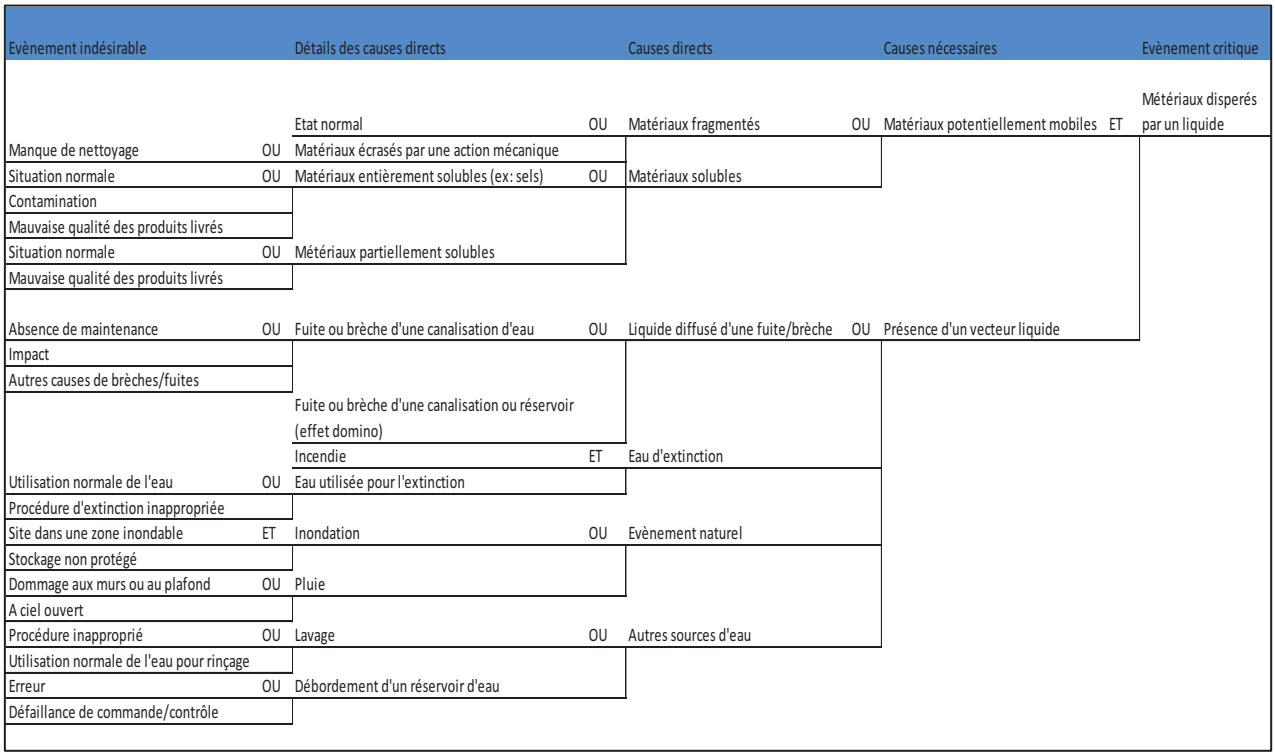


Figure 13 : Extrait des arbres de causes de scénarios d'accidents développés dans le cadre du projet ARAMIS (MEDDE-Direction des risques accidentels, 2004).

iii) Méthode de gestion des risques préconisée dans le cadre de l'étude de dangers des ICPE

Les installations classées soumises à autorisation (SEVESO seuil bas) doivent prendre en compte l'arrêté du 10 mai 2000 modifié (Aida, 2000) et les fiches n°1 à 8 de la circulaire DPPR/SEI2/CB-06-0388 du 28 décembre 2006 (Aida, 2006) pour l'élaboration de leur étude de dangers. Pour les installations classées soumises à autorisation avec servitudes (SEVESO seuil haut), l'étude de dangers doit prendre en compte l'ensemble de ces éléments ainsi que le guide relatif aux principes généraux pour l'élaboration des études de dangers des installations classées soumises à autorisation avec servitudes (mis à disposition par la circulaire DPPR/SEI2/CB-06-0388 du 28/12/06).

Cette présente circulaire précise qu'une étude de danger doit être basée sur le recensement des phénomènes dangereux potentiels, sur l'évaluation de leurs conséquences, de leur probabilité d'occurrence et de leur cinétique, ainsi que sur leur prévention. Une étude de danger est donc **fondée sur une démarche conventionnelle de gestion des risques** :

- Elle consiste tout d'abord à décrire l'installation industrielle et identifier les différentes sources de risques d'accidents majeurs d'origines internes et externes à l'installation. Ensuite, les scénarios qui conduisent aux phénomènes dangereux et aux accidents potentiels sont décrits. **Une approche de type arbre de défaillances ou nœud papillon ou équivalent** peut s'avérer nécessaire pour justifier de la prise en compte de combinaisons d'évènements simples amenant aux accidents majeurs.
- Une hiérarchisation de ces scénarios est effectuée en termes de probabilité d'occurrence, de gravité de conséquences et de cinétique des phénomènes. Si l'industriel le souhaite, il peut inclure dans son estimation la mise en valeur des

mesures de maîtrise des risques (MMR). Le but de cette étape est d'identifier les phénomènes nécessitant une analyse plus détaillée.

- Ensuite, une démarche de réduction de risques est établie au niveau des scénarios identifiés dans l'étape précédente. Son but est de réduire les probabilités et les effets des accidents potentiels jugés comme étant non acceptables.

Points forts/points faibles de la méthode par rapport à nos besoins

L'EDD est intéressante à analyser comme elle précise les principes à prendre en considération afin de répondre aux conformités règlementaires.

Elle démontre de l'intérêt de l'identification des scénarios d'accidents majeurs afin de comprendre les mécanismes (causes et conséquences) conduisant à un phénomène dangereux.

En revanche, l'EDD ne fournit pas de méthode bien précise d'analyse de risque à adopter mais uniquement un cadre d'analyse accompagné de principes à appliquer pour maîtriser efficacement les risques au sein d'une industrie. Le but est de permettre à l'exploitant industriel de choisir la méthode qui lui convient et qu'il se sent plus à l'aise d'appliquer.

iv) Conclusion sur les méthodes de gestion du risque technologique d'un site industriel

L'analyse des méthodes de gestion du risque technologique à l'échelle industrielle met en évidence que **la plupart de ces méthodes ne prennent pas en compte les causes externes de défaillances dans l'installation industrielle telle que l'inondation**. Cependant, lorsqu'elles sont prises en compte, les risques naturels sont considérés simplement en tant que cause externe de défaillance pouvant déclencher des accidents technologiques sans porter une attention particulière aux caractéristiques spécifiques du risque Natech. Leur usage est ainsi limité dans le cadre du risque Natech (Krausmann et al., 2011). Une autre limite de ces méthodes est leurs objectifs finaux qui sont la sécurité des ouvriers présents sur le site industriel ou l'activité industrielle. Le risque secondaire des accidents technologiques majeurs déclenchés par les aléas naturels n'est pas pris en compte.

En outre, certaines des méthodes analysées se basent sur la **proposition de scénarios d'accidents bâtis en fonction de l'analyse du retour d'expériences**, ce qui démontre de l'importance de l'analyse des accidents passés dans la discipline de l'analyse des risques et leur représentation sous forme de scénarios d'accidents. Enfin, **l'importance de bien identifier le système industriel par rapport à son environnement et aux autres composantes du site est majeure** car il constitue la base pour une analyse de risques exhaustive et systémique.

1.5.4.3 Méthodes de réduction de la vulnérabilité des installations industrielles au risque inondation

Comme il a été avancé antérieurement, la réduction du risque d'inondation peut s'effectuer en réduisant la vulnérabilité de l'enjeu menacé par ce risque. Ainsi, plusieurs études ont été développées dans ce sens ayant comme but la réduction de la vulnérabilité des installations industrielles, qui sont une catégorie d'enjeux, au risque d'inondation. La plupart de ces études portent sur l'évaluation de la vulnérabilité au risque inondation présentée généralement sous la forme de diagnostic de vulnérabilité.

Appliqué au domaine de l'entreprise, « **le diagnostic est un outil d'aide de décision**. C'est une méthode d'analyse qui va permettre au dirigeant de faire le point, d'évaluer les forces et les faiblesses

de son entreprise. Une fois toute les informations recueillies, il choisit une stratégie, fixe les objectifs et hiérarchise les priorités d'actions » (Mengual, 2005).

Ainsi, la méthode de diagnostic est un outil assez simple qui peut être utilisé par l'industriel en tant qu'outil d'aide à la décision lui permettant de diagnostiquer d'une façon rapide et simple sa vulnérabilité à un risque donné.

Plusieurs références citent un grand nombre de diagnostic de vulnérabilité qui suivent tous la même démarche et la même formalité (figure 15), dont (Mengual, 2005) (CEPRI et EPL, 2007). Dans cette partie du manuscrit, trois de ces diagnostics sont décrits plus en détails.

i) Guide pour la conduite des diagnostics des vulnérabilités aux inondations pour les entreprises industrielles

Le premier ouvrage examiné est le « Guide pour la conduite des diagnostics des vulnérabilités aux inondations pour les entreprises industrielles » développé par Bruno Ledoux et la société Sageris en coopération avec le MEDDE (Ledoux, 2000). La figure 14 synthétise les différentes étapes de ce guide.

Points forts/points faibles de la méthode par rapport à nos besoins

Ce guide proposé suit **les étapes classiques d'une analyse de risques.** L'identification du risque (étape 1) se fait par l'identification de ces deux composantes, aléa inondation et vulnérabilité de l'industrie.

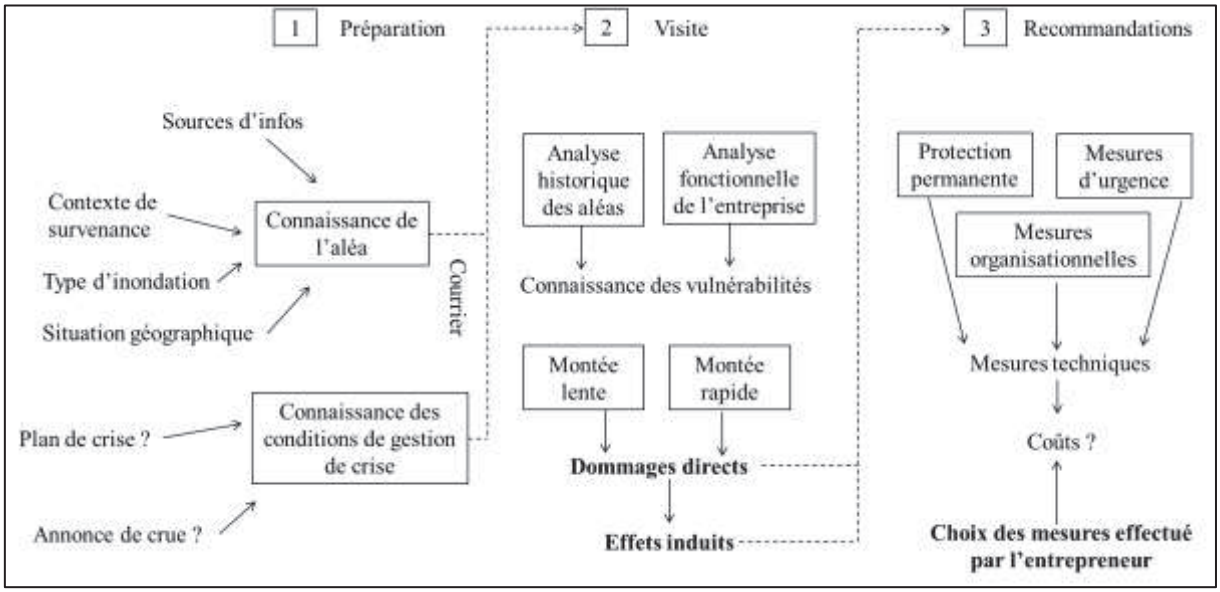


Figure 14 : Synthèse du guide pour la conduite des diagnostics des vulnérabilités aux inondations pour les entreprises industrielles (Mengual, 2005).

Ce guide prend en compte le risque d'accident technologique induit par l'inondation (les effets induits) mais d'une manière très superficielle. Aucune explication n'est donnée quant aux mécanismes de formation de ces accidents, ni au moyen d'identifier leur possibilité d'occurrence. Il s'agit du même problème rencontré dans la réglementation : **Les accidents Natech sont bel et bien mentionnés**

(indiquant qu'il ne faut pas les négliger dans une installation industrielle), mais aucune précision n'est fournie quant à leur identification et leur gestion.

ii) Autodiagnostic de la vulnérabilité des PME-PMI aux inondations

Cet autodiagnostic a été développé dans le cadre de la thèse de Mengual, (2005) en partenariat avec l'Etablissement Public Loire. Il est à destination des PME-PMI exerçant leur activité en zone inondable. Il a pour ambition de couvrir tous les types d'activités et s'adresse plus particulièrement aux dirigeants des entreprises, ce qui explique la simplicité d'utilisation de l'outil proposé. En effet, la profondeur des informations à recueillir doit dépendre de la personne à qui s'adresse le diagnostic. Ainsi, un diagnostic à destination d'un industriel doit nécessiter un recueil d'informations moins important que dans le cas où il est destiné à un consultant du domaine du risque.

Ses objectifs sont d'aider les entreprises à prendre conscience des risques auxquels elles s'exposent. Il vise à montrer que la prise en compte du risque inondation permet au minimum de rester compétitif en cas de survenance du phénomène. La finalité de cet autodiagnostic est la protection de l'entreprise contre les dégâts potentiels d'une inondation.

Le développement de l'outil a été effectué sur la base d'une analyse d'une dizaine de guides. Cela a permis une généralisation puis **une ébauche de modélisation du concept de méthode d'autodiagnostic** (figure 15).

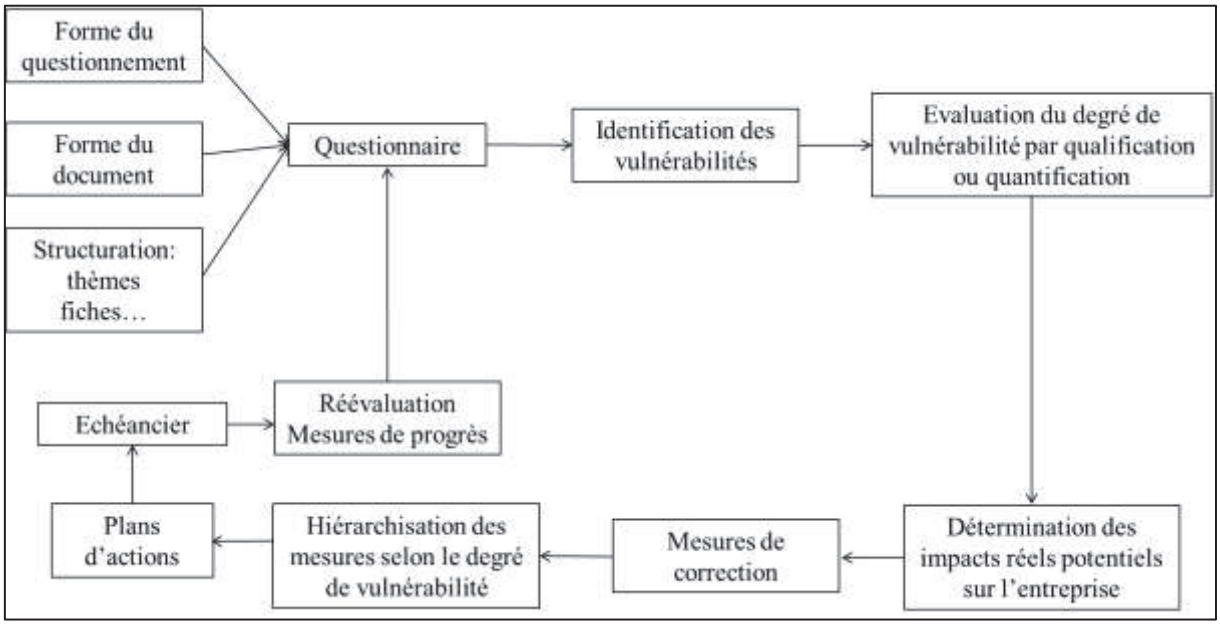


Figure 15 : Modélisation générale d'autodiagnostic de vulnérabilités aux inondations (Mengual, 2005).

L'instrument développé est le fruit de l'adoption de cette modélisation générale à la problématique de l'étude. Ainsi, le guide proposé est constitué de trois documents distincts : l'autodiagnostic lui-même (composé de plusieurs questionnaires), un mode d'emploi de la méthode, un fascicule de mesures, actions et recommandations. **Les différentes étapes de l'autodiagnostic suivent les étapes classiques d'une analyse de risques.**

Les types de dommages pris en compte par cet outil sont :

- les dommages matériels et leur conséquence sur le fonctionnement, qui sont assez développés et expliqués ;
- les dommages indirects : Il s'agit d'un recensement des éléments qui peuvent être à l'origine de dommages matériels supplémentaire, pollution, incendie/explosion, atteintes aux tiers, sans explication précise de la manière avec laquelle ils ont été pris en considération;
- les vulnérabilités organisationnelles : il s'agit des facteurs de résilience basés sur la connaissance des spécificités fonctionnelles et organisationnelles de l'entreprise susceptibles de réduire ou d'aggraver les dommages physiques.

A la suite de l'identification des vulnérabilités, ces dernières sont hiérarchisées et des mesures de sécurité sont proposées pour leur réduction.

Points forts/points faibles de la méthode par rapport à nos besoins

Un point intéressant a été noté par rapport à cette étude. Il s'agit de la manière avec laquelle les barrières de sécurité ont été proposées. Les mesures de réduction de la vulnérabilité sont proposées sous forme de fascicule divisé en trois parties : méthode de réalisation d'un plan d'urgence, les mesures de protection, les mesures permettant de réduire les facteurs aggravants donc les vulnérabilités organisationnelles. Il s'agit d'abord d'un inventaire des mesures temporaires et permanentes choisies avec leur évaluation (facilité, mise en œuvre, coût d'investissement). Ensuite ces mesures sont organisées sous forme de documents de planification : Plan d'urgence pour les mesures d'urgence et de plans d'actions pour les mesures permanentes.

Par ailleurs, comme le premier guide présenté, ce dernier prend en compte le risque d'accident technologique induit par l'inondation d'une manière superficielle.

iii) Diagnostic de vulnérabilité des entreprises au risque inondation développé dans le cadre de la démarche industrielle du Plan Loire Grandeur Nature

Le dernier diagnostic analysé est le diagnostic de vulnérabilité des entreprises au risque inondation développé dans le cadre de la démarche industrielle du Plan Loire Grandeur Nature de l'Etablissement Public Loire (EPL) pour réduire la vulnérabilité des activités économiques du bassin de la Loire et de ses affluents face au risque inondation (EPL, consulté le 10 Novembre 2010).

L'enjeu essentiel de cette démarche "industrielle" est de réduire la vulnérabilité des entreprises, filières et zones d'activité de façon significative, en agissant pour la préservation des intérêts vitaux de l'entreprise face à une crue majeure dans le bassin versant de la Loire. Près de 20.000 entreprises, 245.000 emplois et 330 milliards d'euros sont en jeu (prim.net, consulté le 21 février 2013).

Le diagnostic de l'EPL a été développé par le groupement bureau Véritas-SOGREAH consultants en suivant les principes d'une analyse classique de gestion de risques de la norme ISO 31000 (figure 8). Son objectif final est de rendre les activités économiques plus résilientes, leur permettre de retourner le plus vite possible à la normale. La figure 16 illustre les différentes étapes du diagnostic.

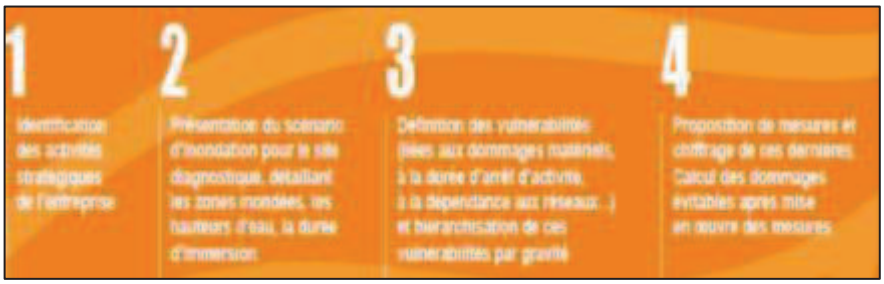


Figure 16 : Etapes du diagnostic de vulnérabilité des entreprises au risque inondation de l'EPL (Bouissou, 2011)**.**

Points forts/points faibles de la méthode par rapport à nos besoins

Un point fort à noter, par rapport à ce guide, est la proposition de mesures de sécurité, issues d'un catalogue de mesures adaptées à chaque activité. La présentation des mesures est également intéressante ; Chaque mesure précise : le descriptif de la mesure, les dommages qu'elle réduit, les difficultés de sa mise en œuvre, son coût (quand elle peut être chiffrée) et sa période de mise en œuvre.

Le scénario d'inondation retenu dans le cadre de ce diagnostic est le scénario majorant conforme à l'atlas des zones inondables (EPL, consulté le 10 Novembre 2010)**.** Par ailleurs, un point négatif par rapport à nos besoins est la finalité de l'évaluation des vulnérabilités, qui s'effectue dans le sens de l'identification des biens/équipements stratégiques pour le fonctionnement de l'entreprise afin d'éviter leurs dommages pour permettre à l'entreprise de retourner le plus vite possible à la normale. Ainsi, les impacts induits sont pris en compte très superficiellement sous la catégorie de vulnérabilités particulières.

v) Conclusion sur les méthodes de réduction de la vulnérabilité des installations industrielles au risque inondation

L'analyse de ces différents diagnostics montre qu'ils sont focalisés sur l'activité industrielle et l'aide au redémarrage rapide de l'activité après une inondation. Ainsi, il s'agit plutôt d'aider l'entreprise à devenir résiliente. Le point commun de ces diagnostics est qu'ils **considèrent très superficiellement les impacts d'une entreprise inondée sur son environnement.**

Ces diagnostics **organisés sous forme de questionnaire suivent les étapes classiques d'une méthode de gestion de risques.** Ils sont **simples d'utilisation** et plus particulièrement par les industriels. En effet, ces diagnostics **ne nécessitent pas de recueils importants d'informations. Ainsi, ces diagnostics constituent une autre forme de présentation des méthodes de gestion du risque (sous forme de questionnaire) afin de faciliter la gestion d'un risque particulier, le risque inondation, par l'industriel.**

Ces outils analysés qui portent d'une façon pointue sur le risque inondation en industrie ne prennent que très superficiellement en compte le risque Natech inondation.

1.5.5 Synthèse et conclusion sur l'adéquation des méthodes existantes à l'analyse du risque Natech inondation

Les contraintes et besoins, définis dans le paragraphe 1.5.3, ont été transformés en critères (tableau 10) afin de pouvoir comparer les différentes méthodes présentées dans cette section.

Cependant, la méthodologie développée par (Rota et al., consulté le 7 Novembre 2011) n'est pas incluse dans la comparaison vu qu'il s'agit du développement d'une analyse multicritère qui n'est pas encore complète et qui va aboutir à une analyse de la vulnérabilité d'une industrie au risque Natech inondation.

Une analyse plus poussée du tableau 10 montre que :

- La méthode de gestion du risque technologique proposée dans le projet ARAMIS permet une prise en compte de l'aléa inondation en tant que cause externe de défaillance. Mais aucune analyse approfondie des mécanismes propres à ces accidents n'est effectuée.
  Aussi, la méthode permet de choisir au niveau du site des équipements (dits critiques) pouvant provoquer des accidents majeurs mais aucune indication n'est donnée quant aux autres composantes du site industriel et comment ils sont considérés dans le cadre de la méthode de gestion des risques (non application de l'approche systémique).
- La méthode de gestion du risque technologique proposée par l'étude de danger suit les étapes conventionnelles d'une méthode de gestion de risque. Elle préconise la prise en compte de l'aléa inondation en tant que source externe de défaillances en appliquant l'approche déterministe. Mais les guides pour les études de danger proposent surtout des principes à appliquer pour assurer une maîtrise efficace du risque industriel sans préciser comment le système industriel pourrait être appréhendé systématiquement dans la phase de l'identification du risque. Egalement, aucune proposition de modèle d'accidents à adopter pour le développement des scénarios d'accidents est faite ni de proposition des modèles d'accidents types. Les guides pour les études de danger sont élaborés de cette façon pour donner la liberté à l'industriel de choisir la méthode de gestion de risques à sa convenance en appliquant les principes préconisés.
- Les diagnostics de vulnérabilité s'attachent plutôt aux dommages directs provoqués à l'entreprise par l'inondation et ne prennent pas ainsi en considération son voisinage. Elles ne prennent que très superficiellement en compte le risque Natech inondation. Bien qu'ils suivent les étapes conventionnelles de méthodes de gestion des risques, les informations fournies quant à l'analyse de risques sont superficielles : pas d'indications spécifiques sur le développement de scénarios d'accidents ou l'identification des mécanismes générateurs des dommages en entreprise.
- Les méthodes quantitatives Rapid-N et celle développée dans le cadre du travail d'Antonioni et al. sont toujours en cours de développement pour l'application au cas du Natech inondation. Elles ont montré la limite de l'application de telles méthodes probabilistes et quantitatives à cette problématique d'étude.
- La méthode de gestion du risque Natech inondation proposée dans le guide de l'INERIS sert d'orientation pour les industriels. Par ailleurs, elle préconise d'identifier les équipements sur un site industriel qui peuvent être touchés par les eaux d'inondation. Ce sont ces équipements qui sont pris en compte dans l'analyse de risque. Mais aucune indication n'est donnée quant à la définition du système industriel : quels équipements doivent être pris en considération dans l'analyse ? comment sont examinées les interactions entre les composantes de l'installation ? comment développer les scénarios à partir des équipements identifiés ? Il s'agit plutôt d'indications d'ordre générale à suivre pour considérer le risque Natech inondation en entreprise.

L'analyse du tableau permet de remarquer que **la méthode MOSAR** est la plus complète quant aux critères formulés. Bien qu'elle n'effectue pas d'analyse de risques a posteriori mais cela est rendu

possible grâce au modèle d'accident MADS qu'elle propose (figure 12). Elle offre également la possibilité de la prise en compte de l'aléa inondation en tant que cause externe de défaillance. Elle permet d'effectuer une analyse de risque déterministe et également probabiliste qui pourra être alimenté suite à de futures recherches. Un des points positifs les plus importants de cette méthode est qu'elle est la seule à permettre une définition du système industriel en adoptant l'approche systémique, ce qui permettra d'examiner les différentes composantes du système aussi bien que leurs interactions. Dans le cas de l'accident Natech, ceci est primordial pour pouvoir étudier les évènements en cascades. Elle suit aussi les étapes de gestion de risques très clairement. Par contre, cette méthode est parfois difficile à appliquer par des non spécialistes du domaine du risque. Pour qu'elle puisse répondre aux besoins de ce travail de recherche, la méthode MADS/MOSAR devra être améliorée et complétée.

A la suite de l'identification des lacunes des différentes méthodes présentées par rapport aux contraintes et besoins établis, il s'avère nécessaire de développer une méthodologie d'analyse de risque permettant d'étudier les mécanismes des accidents Natech inondation au sein d'une installation industrielle et ainsi réduire leurs conséquences sur le voisinage.

Tableau 10 : Tableau comparatif des méthodes de gestion de risque et des diagnostics de vulnérabilité abordés.

Critères		Méthode								
		Gestion du risque techno			Diagnostic de vulnérabilité			Gestion du risque Natech inondation		
		MOSAR	ARAMIS	EDD	(Ledoux, 2000)	(Mengual, 2005)	(EPL)	Rapid-N	(Antonioni et al., 2009)	(INERIS)
Prise en compte des causes externes de défaillance (aléa inondation)		Possible	Superficiel	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Prise en compte des victimes extérieures à l'industrie (environnement et habitants aux alentours)		Oui	Oui	Oui	Non	Non	Non	Oui	Oui	Oui
Obtention de résultats qualitatifs (scénarios d'accidents, recommandations, MMR)		Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Non	Oui
Adoption de l'approche déterministe		Det/Prob	Det/Prob	Det/Prob	Oui	Oui	Oui	Det/Prob	Prob	Oui
Adoption d'un modèle d'accident		Oui	Implicite	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Implicite
Proposition de scénarios d'accidents types		Non	Oui	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non
Analyse a priori et a posteriori (analyse REX)		A priori	A priori	Les 2	Les 2	A priori	A priori	Les 2	Les 2	A priori
Prise en compte des défaillances simultanées		Oui	Oui	Oui	Non	Non	Non	Oui	Oui	Oui
Prise en compte des principes de la systémique dans la définition du système industriel		Oui	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non
Etapes : Formalisation	**Définition du système**	Oui	Oui	Oui	Oui (faible)	Oui	Oui (faible)	Oui (faible)	Oui (faible)	Oui (faible)
	Identification des risques	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
	Identification des mécanismes générateurs de risques	Oui	Oui	Oui	Non	Non	Non	conséquences	conséquences	Oui
	Evaluation	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Non
	Hiérarchisation	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Non
	Identification des solutions	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Non	Oui

Dans le cas ce travail de recherche, afin de réduire le risque Natech auquel une entreprise peut être soumise, nous agissons au niveau de l'installation industrielle qui est l'enjeu du risque inondation (réduction de la vulnérabilité au risque inondation) et l'aléa du risque technologique (développement d'une méthodologie de réduction de risque à l'échelle de l'installation industrielle). Ce qui amène à l'élaboration de la **troisième hypothèse de recherche** :

H3 : « **Une méthodologie de gestion de risque spécifique Natech inondation au niveau de l'installation industrielle contribue à la réduction de la vulnérabilité de l'industrie au risque inondation et à la réduction des conséquences de ces accidents sur le voisinage de l'installation** ».

De plus, l'analyse des différentes méthodes de gestion du risque Natech inondation nous amène à formuler la quatrième hypothèse de recherche :

H4 : « **Il est plus intéressant de proposer une méthode de gestion de risques simplifiée permettant de réduire la vulnérabilité du site industriel au risque Natech inondation sous forme de diagnostic de vulnérabilité. »**

Le diagnostic servira à identifier certains points critiques sur lesquels il faudrait agir pour réduire la vulnérabilité du site au risque Natech inondation et ceci en adoptant des barrières de sécurité adéquates.

Conclusion du chapitre 1: Synthèse des hypothèses, présentation de la question de recherche et de l'objectif du travail de recherche

L'ensemble des informations présentées ont démontré que les données portant sur les accidents Natech inondation sont assez rares et, si elles sont présentes, elles sont la plupart du temps descriptives et imprécises. Il existe notamment un manque important de détails par rapport aux types de dommages provoqués par l'inondation au niveau des équipements industriels, aux intensités de l'aléa provoquant ces dommages, aux intensités de rejets de substances dangereuses suivant les dommages, aux conséquences des accidents, leurs causes ainsi que leur gravité. De là découle notre première hypothèse : **Les mécanismes de déclenchement de tels accidents doivent être élucidés plus clairement suite à l'identification des scénarios Natech à l'échelle du site industriel, afin de répondre à ces lacunes** (H1).

L'examen de la bibliographie portant sur les Natechs a également démontré la spécificité de ces risques d'où notre deuxième hypothèse : **Le risque Natech doit être pris en compte indépendamment dans le processus de gestion des risques au sein d'une installation industrielle** (H2).

Ces manques de données concernent les recherches et la règlementation ce qui a contribué au manque de mitigation faisant face à de tels évènements et ainsi à une augmentation des dommages provoqués par ces accidents. Nous avons ainsi formulé notre troisième hypothèse, qui représente notre hypothèse directrice : **Une méthodologie de gestion de risque spécifique Natech inondation au niveau de l'installation industrielle contribue à la réduction de la vulnérabilité de l'industrie au risque inondation et à la réduction des conséquences de ces accidents sur le voisinage de l'installation** (H3).

Encart 2 : Un questionnaire mené par le JRC au niveau des pays membres de l'OCDE (Elizabeth Krausmann, 2012) a permis d'identifier plusieurs priorités de travail de recherche futur dans le domaine des Natechs et qui sont les suivantes : Le développement d'assistance en gestion du risque Natech, le développement/l'amélioration des méthodologies d'analyse de risque Natech et le développement de cartes spécifiques de risques Natech. Ceci justifie l'importance de notre travail de recherche qui s'articule autour du second volet, en proposant une méthodologie de gestion du risque Natech inondation permettant d'améliorer la réduction de ce risque.

La rareté des études qui traitent de ce type spécifique de risque est dû à plusieurs raisons dont : le manque de guide facilitant l'application des réglementations portant sur les Natech inondation, le manque d'informations portant sur les mécanismes de ces accidents et le manque d'expertise humaine et de moyens financiers pour les gérer efficacement au sein de l'industrie. Ajoutons également l'imprécision des données portant sur les Natechs inondation rendant toute tentative de proposition de méthodologie d'analyse de risques quantitative et d'évaluation de risque difficile. **Ainsi, nous faisons l'hypothèse qu'il est nécessaire de proposer non pas uniquement une méthode d'analyse de risque Natech inondation mais plutôt un diagnostic simple d'utilisation à l'intention des industriels basé sur une méthodologie de risque** (H4). Ce dernier servira à identifier certains points critiques sur lesquels il faudrait agir pour réduire la vulnérabilité du site au risque Natech inondation et ceci en adoptant des barrières de sécurité adéquates.

Ainsi, il est possible de formuler la question de recherche correspondant à notre travail :

Est-il possible de développer une méthode d'analyse de risque Natech inondation simple permettant de réduire la vulnérabilité des installations industrielles au risque Natech inondation ?

D'où l'objectif de nos travaux de recherche :

Le développement d'une méthodologie d'analyse de risque Natech inondation qui pourra servir de base pour l'élaboration d'un outil de diagnostic. Cet outil de diagnostic est destiné aux industriels pour la réduction du risque Natech inondation au sein de leur entreprise (et plus particulièrement les ICPE situées en Zone Inondable).

Le chapitre 2 de ce manuscrit va permettre de répondre à cette question et cet objectif de recherche en présentant la méthodologie développée. Cette dernière utilise un ensemble d'outils d'analyse de risques permettant d'étudier les mécanismes des accidents Natech inondation au sein d'une installation industrielle.

Chapitre 2. Méthodologie pour l'analyse et la prévention du risque d'accidents technologiques induits par l'inondation (Natech inondation) vers le développement de scénarios d'accidents génériques

Chapitre 2. Méthodologie pour l'analyse et la prévention du risque d'accidents technologiques induits par l'inondation (Natech inondation) vers le développement de scénarios d'accidents génériques

Le premier chapitre a évoqué les contraintes et les besoins d'une méthode propre à la gestion du risque Natech inondation (figure 17). Plusieurs méthodes de gestion de risque ont été présélectionnées, présentées et comparées en fonction de ces contraintes et besoins qui ont été transformées en critères de comparaison. L'analyse a démontré qu'aucune des méthodes présélectionnées ne répondait aux critères établis, d'où la formulation de l'hypothèse directrice de ce travail et qui consiste en un besoin de développer une méthodologie de gestion du risque Natech inondation (répondant aux critères établis) au sein d'une installation industrielle afin de réduire sa vulnérabilité à ce type de risque.

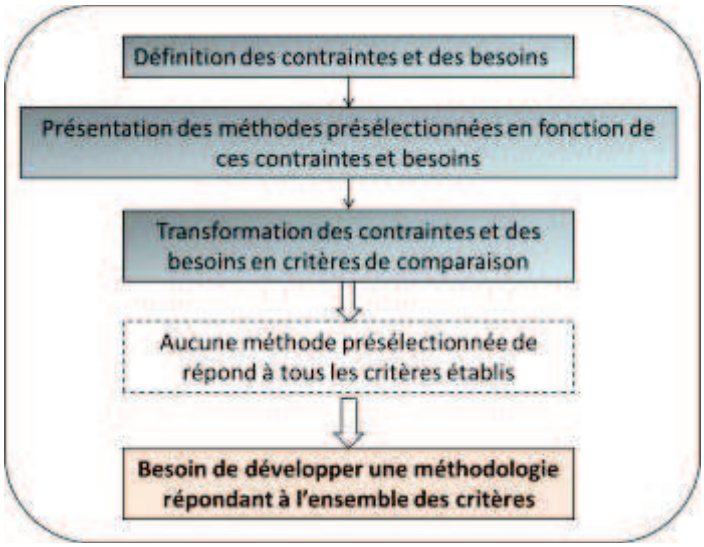

Définition des contraintes et des besoins
Présentation des méthodes présélectionnées en fonction de ces contraintes et besoins
Transformation des contraintes et des besoins en critères de comparaison
Aucune méthode présélectionnée de répond à tous les critères établis
Besoin de développer une méthodologie répondant à l'ensemble des critères

Figure 17 : Démarche pour le choix de la méthodologie à développer.

Ainsi, ce chapitre 2 tente de lever les limites évoquées dans le chapitre 1. Il s'agit, notamment, de répondre à la première hypothèse de recherche en identifiant les mécanismes et les causes menant de l'aléa naturel inondation à la survenue d'un accident technologique. Pour cela, ce chapitre débouche sur le développement d'une méthodologie d'analyse du risque Natech inondation basée sur la création de scénarios génériques d'accidents (réponse aux hypothèses de recherche 2 et 3). La démarche d'élaboration de la méthodologie est résumée dans la figure 18. La structure du chapitre suit les différentes étapes présentées sur cette figure.

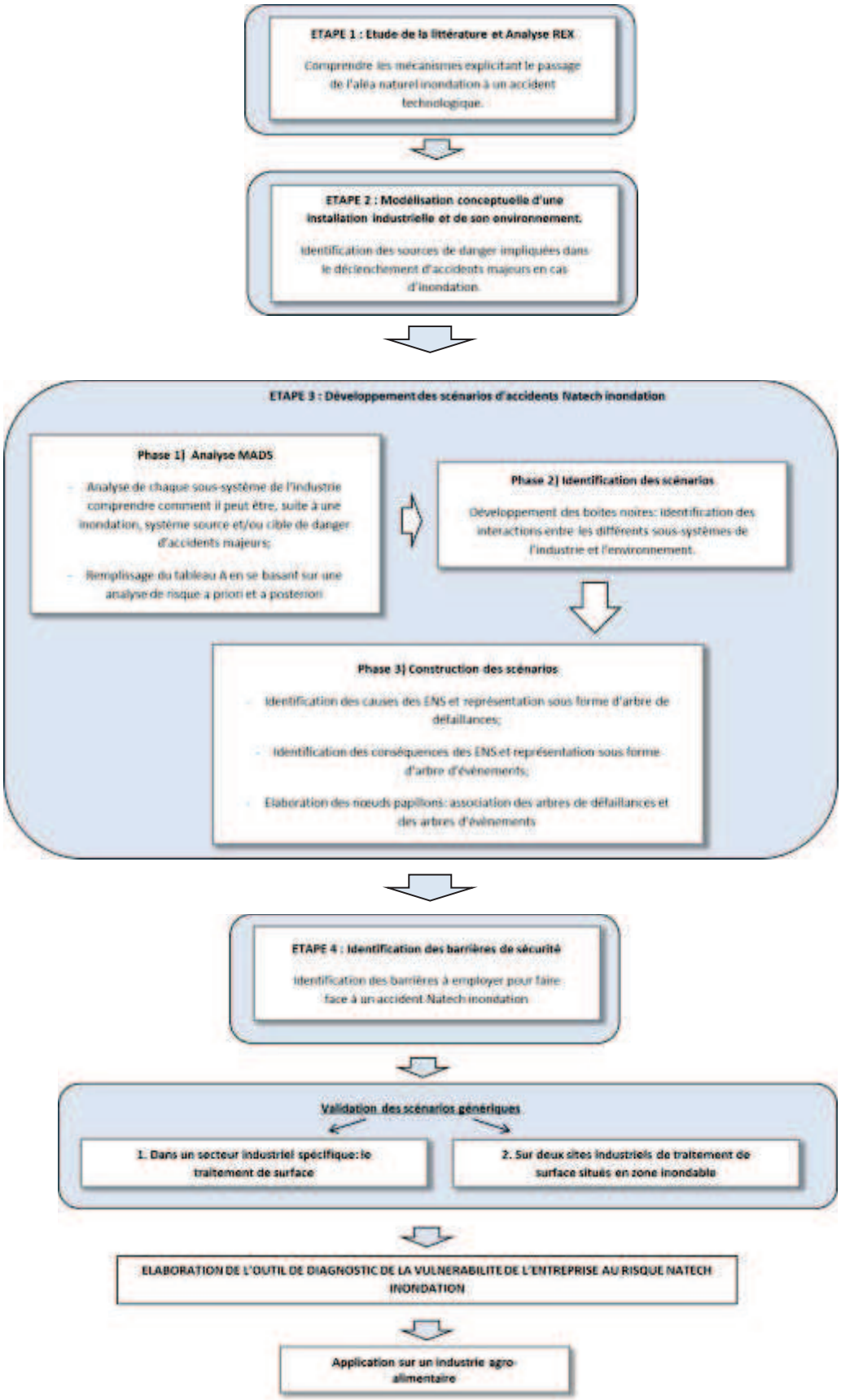

ETAPE 1 : Etude de la littérature et Analyse REX
Comprendre les mécanismes explicitant le passage de l'aléa naturel inondation à un accident technologique.
ETAPE 2 : Modélisation conceptuelle d'une installation industrielle et de son environnement.
Identification des sources de danger impliquées dans le déclenchement d'accidents majeurs en cas d'inondation.
ETAPE 3 : Développement des scénarios d'accidents Natech inondation
Phase 1] Analyse MADS
Analyse de chaque sous-système de l'industrie comprendre comment il peut être, suite à une inondation, système source et/ou cible de danger d'accidents majeurs;
Remplissage du tableau A en se basant sur une analyse de risque a priori et a posteriori
Phase 2] Identification des scénarios
Développement des boites noires: identification des interactions entre les différents sous-systèmes de l'industrie et l'environnement.
Phase 3] Construction des scénarios
Identification des causes des ENS et représentation sous forme d'arbre de défaillances;
Identification des conséquences des ENS et représentation sous forme d'arbre d'événements;
Elaboration des nœuds papillons: association des arbres de défaillances et des arbres d'événements
ETAPE 4 : Identification des barrières de sécurité
Identification des barrières à employer pour faire face à un accident Natech inondation
Validation des scénarios génériques
1. Dans un secteur industriel spécifique: le traitement de surface
2. Sur deux sites industriels de traitement de surface situés en zone inondable
ELABORATION DE L'OUTIL DE DIAGNOSTIC DE LA VULNERABILITE DE L'ENTREPRISE AU RISQUE NATECH INONDATION
Application sur un industrie agro-alimentaire

Figure 18: Démarche d'élaboration de la méthodologie.

2.1 Première étape : Etude REX sur les accidents Natech inondation

2.1.1 Importance de l'analyse REX et le développement de scénarios d'accidents en analyse de risques

Le REX (retour d'expériences) est un terme polysémique qui désigne, suivant le contexte, un concept, un ensemble de résultats, une démarche ou un dispositif. Selon (Chaudet-Bressy, 2002), le REX est « une démarche qui répond à l'objectif de tirer de la connaissance à partir de l'analyse d'évènements par l'intermédiaire d'un dispositif formel ».

De nos jours, la communauté industrielle est convaincue que le REX représente une démarche essentielle de la maîtrise des risques (Hadj Mabrouk et Hamdaoui, 2008).

En réalité, l'expérience peut être considérée comme une ressource de progrès pour la maîtrise des risques. Le REX a pour objectif de favoriser l'amélioration de la gestion des risques par l'analyse de situations rencontrées par les acteurs d'une entreprise donnée ou par d'autres entreprises possédant des activités proches ou similaires. Cet objectif repose sur des concepts utilisés dans les sciences de l'éducation car il s'agit d'apprendre à partir d'une expérience dont il a été possible d'extraire une connaissance (Wassenhove et Garbolino, 2008). En effet, afin de bien maîtriser le risque, il faut bien connaître le système et étudier son comportement dans toutes les situations possibles. D'où le rôle du REX qui offre la possibilité de connaître le comportement réel d'un système dans des situations bien déterminées.

Or, dans le domaine de la prévention des risques, le REX consiste le plus souvent en une **étude analytique causale** des différents facteurs impliqués **dans la genèse des incidents ou accidents.** En effet, (Chaudet-Bressy, 2002) précise que l'étude des accidents intervient dans l'analyse de risques dans la création des modèles de processus de danger sur lesquels se fonde l'analyse de risques. Ainsi, cette analyse REX va permettre de se représenter les processus de réalisation des accidents (reconnaissance des sources de danger, de combinaisons de multiples causes…) et de connaître les mécanismes de production des phénomènes dangereux. Ainsi, le modèle d'accident est essentiel en analyse de risques. Il s'agit d'une représentation visant à formaliser le processus de déroulement de l'accident. Les méthodes d'analyse de risques utilisent ou non un modèle, qui peut différer d'une méthode à l'autre. Cela a une influence sur l'efficience de l'analyse, qui passe, entre autres, par le degré d'approfondissement possible dans les recherches des causes et des conséquences du risque (Gardes, 2001).

Ainsi, (Périlhon, 2007) précise que « l'étude des accidents survenus est fondamentale dans l'évolution de la connaissance des risques. Comprendre comment un accident est arrivé, quels sont les évènements qui ont interagi, leur nature et leur origine, va permettre de réintroduire la connaissance acquise dans la prévention d'autres accidents par l'analyse a priori ».

Les objectifs de l'étape de REX dans ce travail de recherche sont : d'alimenter l'analyse de risque Natech inondation au niveau de l'élaboration de processus de danger, d'identifier les causes et les effets des évènements non souhaités, de suivre l'évolution réelle des causes et ainsi de développer des modèles d'accidents qui sont utilisés pour la représentation du processus de déroulement des accidents Natech inondation.

En conclusion, la première étape de la méthodologie consiste à utiliser le REX pour recueillir l'expérience des accidents Natech inondation et l'organiser selon un modèle d'accident. Le but du REX est d'alimenter en cas réels l'analyse de risques qui aboutira à l'élaboration de scénarios d'accidents génériques, sur lesquels le développement du questionnaire et la proposition des mesures de prévention et de protection sont basées.

2.1.2 Données REX exploitées

Dans le cadre de la mise en place de la méthodologie pour l'analyse du risque Natech inondation, le retour d'expérience joue un rôle assez important. Il permet d'identifier les dommages aux équipements industriels occasionnés par l'aléa naturel inondation, leurs causes, leurs conséquences et ainsi les chemins potentiels pour passer de l'aléa naturel à l'accident technologique (scénarios d'accidents Natech inondation). Ce travail d'exploitation de REX s'est basé sur trois piliers principaux :

- une analyse de la base de données ARIA,
- des analyses déjà effectuées de l'ensemble des bases d'accidentologie,
- l'analyse d'une série d'accidents Natech inondation mentionnés dans des rapports d'accidents et des publications scientifiques.

L'analyse de ces trois sources d'informations/données est présentée dans le paragraphe 2.1.3.

2.1.2.1 Base de données ARIA

La base de données ARIA (Analyse, Recherche et Information sur les Accidents) recense les accidents technologiques survenus dans les installations classées au titre de la législation ICPE et lors du transport de matières dangereuses. La base de données ARIA a été créée et est mise à jour régulièrement par le Bureau d'Analyse des Risques et Pollutions Industrielles (BARPI), et qui dépend de la Direction de la Prévention des Pollutions et des Risques (DPPR) du MEDDE.

D'après un rapport de la base ARIA (BARPI, 2011), 441 accidents répertoriés impliquent des phénomènes naturels dont 104 événements concernant les inondations comme indiqué dans le tableau 11.

Une analyse des 104 accidents industriels impliquant des crues ou des inondations a été effectuée.

2.1.2.2 Etudes portant sur des bases de données d'accidentologie industrielle

En raison des manques d'informations portant sur les accidents Natech inondation, une attention particulière a été donnée à des études déjà existantes portant sur l'analyse des bases de données d'accidentologie industrielle, et permettant d'en extraire des informations intéressantes pour de futures recherches.

- L'étude d'accidentologie de l'INERIS (Ayrault et al., 2001) porte sur la base ARIA et plus particulièrement sur les accidents industriels causés par l'aléa inondation. Cette étude a comme but d'améliorer la connaissance des phénomènes naturels (dont l'inondation), et en particulier leurs impacts potentiels sur les installations industrielles.

Tableau 11 : Nombre et pourcentage d'accidents industriels impliquant des aléas naturels par type de risque naturel (BARPI, 2011).

Type de risque naturel	Nombre d'accidents	%
Pluie	100	23
Inondation	104	24
Foudre	98	22
Glissement de terrain	7	2
Erosion/effondrement	4	1
Vent	43	10
Neige ou grêle	21	5
Gel	24	5
Séisme	1	< 1
Température extrême	39	9

- L'étude de (Campedel, 2008) et (Cozzani et al., 2010) porte sur l'investigation au niveau de plusieurs bases de données d'accidentologie (ARIA- Analyse, Recherche et Information sur les Accidents, FACTS- Failure and Accidents Technical information System, MARS- Major Accidents Reporting System, MHIDAS- Major Hazard Incident Data Service, IChemE database, NRC- National Response Center). 272 accidents industriels impliquant des inondations ont été analysés comme indiqué dans la figure 19**.** L'analyse a porté notamment sur :

- les types d'équipements industriels les plus endommagés en cas d'inondation du site industriel,
- les différents types de dommages structuraux des équipements industriels induits par l'inondation,
- les paramètres d'inondation responsables des dommages,
- l'intensité des rejets de substances dangereuses observés suite au dommage des équipements industriels,
- ainsi que les phénomènes dangereux potentiels.

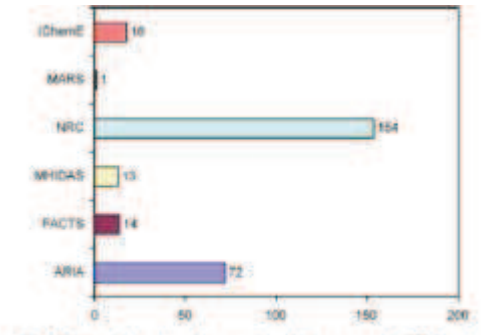


Figure 19 : Source des accidents analysés (272 accidents déclenchés par l'aléa inondation entre 1960 et 2007) (Cozzani et al., 2010).

L'étude a résulté entre autres au **développement d'arbres d'évènements** intéressants qui peuvent être réutilisés dans de futurs travaux portant sur l'évaluation quantitative des accidents Natech inondation. Comme le cas de (Antonioni et al., 2009), l'analyse a surtout porté sur les conséquences des dommages aux équipements industriels et aucune analyse sur la cause de ces dommages n'a été effectuée.

- L'étude de (Kraussman et Mushtaq, 2008) se base sur les bases de données MARS, IChemE database et ARIA. Cette étude a résulté en un développement d'une échelle qualitative reliant l'intensité d'une inondation aux types de dommages qui peuvent être observés au niveau d'un site industriel. L'échelle est construite par catégorie d'activité industrielle.
- L'étude de (Rasmussen, 1995) porte sur les accidents industriels déclenchés par un aléa naturel et répertoriés dans les bases de données FACTS du TNO et MHIDAS de SRD a été analysée. Ces deux bases recensent au total 232 accidents appartenant à cette thématique.
  Sur les 232 accidents analysés par (Rasmussen, 1995), 100 accidents ont lieu sur des installations fixes (process et/ou stockage). Sur ces 100 accidents, 88 sont dus à des phénomènes atmosphériques (dont 8 pluies et 4 vent), 9 à des tremblements de terre et 1 à des mouvements de terrain.

2.1.2.3 Accidents Natech inondation

Les accidents analysés ont été trouvés suite à l'examen de rapports d'accidents et de publications scientifiques. L'ensemble des études analysées sont citées en annexe 1.

2.1.3 Analyse des données REX et limites (EL HAJJ et al., 2012)

2.1.3.1 Limites

Comme il a été bien démontré dans le chapitre 1, il existe très peu d'informations sur les caractéristiques des accidents Natech. Il s'agit d'une des raisons de l'absence d'aide aux exploitants industriels dans leur processus de gestion du risque Natech inondation.

Ce manque d'informations peut être expliqué entre autres, par le manque de données détaillées sur l'occurrence de ces accidents. C'est ce qu'il a été remarqué durant l'étude REX : « Un manque de rapports d'accidents détaillés et standardisés dans le domaine ». Ainsi, dans le cas des données présentes dans les bases de données d'accidentologie industrielle : Les accidents reportés dans ces bases sont pour la plupart incomplètes ou leurs descriptions sont imprécises (Rasmussen, 1995). De plus, ces rapports ont pour objectif final la présentation des conséquences finales des accidents, négligeant les données sur les dommages structuraux des équipements industriels provoqués par l'inondation ou les caractéristiques de l'aléa naturel responsable des conséquences. Ceci rend extrêmement difficile la compréhension des mécanismes des accidents Natech inondation.

Une des raisons de ces manques est le fait que les bases de données d'accidentologie industrielle ne sont pas conçues pour contenir d'une manière standardisée les informations portant sur l'aléa naturel responsable de l'accident Natech (Ana Maria Cruz et al., 2004a).

2.1.3.2 Notions d'impacts directs, indirects et induits

Afin de mieux comprendre le déroulement d'un évènement Natech inondation, et donc d'exploiter au mieux les retours d'expériences, il est utile de revenir sur **la notion d'impact.**

i) Définitions

Dans la discipline du risque, le terme impact représente la conséquence du risque.

En ce qui concerne, l'impact d'un aléa naturel, Ledoux et Hubert (1999) le définissent comme étant un « changement observé suite à la survenance d'un évènement naturel ». Le changement peut être positif : Gain ou bénéfice (exemple : Développement local d'un autre territoire suite à l'occurrence de l'évènement naturel) ou négatif : dommages.

Les différents types d'impacts identifiés peuvent être définis comme suit :

- **Les impacts directs d'un aléa naturel sur une installation industrielle :** Les impacts directs sont **les conséquences causées par l'évènement naturel sur les biens, les équipements et les personnes** (figure 20). Ces conséquences sont généralement des pertes (des dommages) liées à l'impact physique de l'évènement naturel, occasionnant ainsi une destruction matérielle des biens et des équipements (dégâts matériels) ou corporelle (Ledoux et Hubert, 1999) (Mengual, 2005).
- **Les impacts indirects d'un aléa naturel sur une installation industrielle :** Les impacts indirects sont les conséquences particulières engendrés par les dommages directs (fig. 8). Ces conséquences sont généralement difficiles à mesurer car elles ne sont pas tangibles. Elles affectent l'installation et **ne génèrent pas de risque supplémentaire** pour son entourage (Habitats/Habitants, activités industrielles à proximité et environnement représenté par le milieu naturel) (figure 20).
- **Les impacts induits d'un aléa naturel sur une installation industrielle :** Quand **les impacts directs deviennent une source supplémentaire de danger**, et génèrent un risque technologique pour le voisinage de l'entreprise, on parle plutôt d'impacts induits (par l'installation sur son entourage) (figures 20 et 21). Ils sont désignés aussi par conséquences environnementales des accidents technologiques déclenchés par l'évènement naturel (Cozzani et al., 2010). Comme les impacts indirects, les impacts induits sont des conséquences particulières engendrées par des dommages directs : C'est l'ensemble des dommages engendrés par l'entreprise, ayant subi des dommages directs, à son voisinage (Mengual, 2005). **Il s'agit de l'accident Natech.**

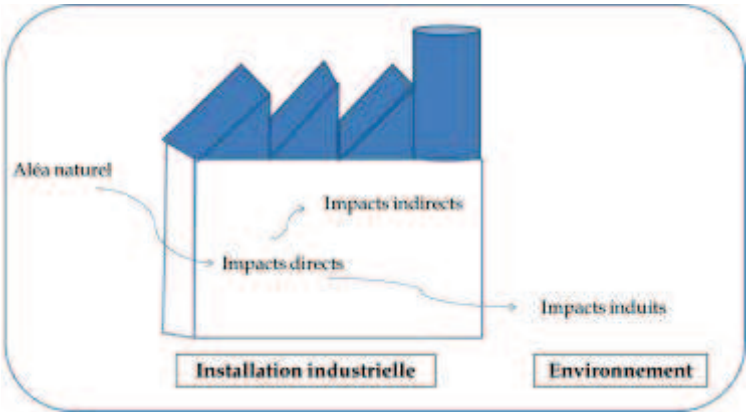


Figure 20 : Représentation schématique des Impacts directs, indirects et induits d'un aléa naturel sur une installation industrielle et son environnement.

Ces définitions d'impacts s'appliquent aussi bien à des systèmes territoriaux qu'industriels.

Des exemples d'impacts directs, indirects et induits de l'inondation pour chaque composante d'un territoire sont présentés dans l'annexe 2. Les exemples d'impacts pour le système industriel sont détaillés dans le paragraphe suivant dans le but de montrer l'ampleur et l'importance de se concentrer sur ces travaux.

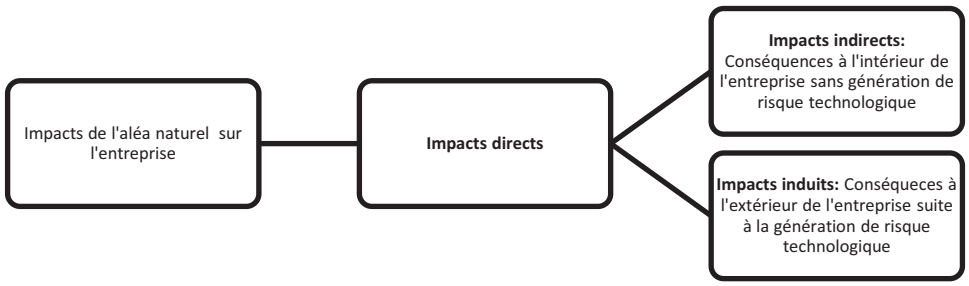

Impacts de l'aléa naturel sur l'entreprise
Impacts directs
Impacts indirects: Conséquences à l'intérieur de l'entreprise sans génération de risque technologique
Impacts induits: Conséqueces à l'extérieur de l'entreprise suite à la génération de risque technologique

Figure 21 : Illustration des relations entre les différents types d'impacts directs, indirects et induits.

ii) Impacts de l'inondation sur les installations industrielles

Le tableau 12 présente les impacts directs, indirects et induits qui peuvent atteindre spécifiquement la composante installation industrielle d'un territoire inondé.

Pour construire le tableau 12, les références bibliographiques (Ledoux, 2000) (EPL, consulté le 10 Novembre 2010) (INERIS, 2004) (Mengual, 2005) (Cozzani et al., 2010) qui recensent une liste non exhaustive des effets d'une inondation ont été considérés. Le classement en impacts directs, indirects et induits s'est fait suivant les définitions posées en 2.1.3.2.i. Ce qui a induit des « glissements » de catégories de certains impacts. Exemple : l'impact « perte de clientèle » est considéré comme un impact indirect ; ce qui n'est pas le cas de (Ledoux, 2000) qui le considère comme un impact induit du fait de la différence de définition.

2.1.3.3 Synthèse du déroulement d'un phénomène Natech issue de l'étude REX

L'analyse REX a prouvé que **l'inondation est susceptible de causer des accidents technologiques en industrie. Ces accidents sont causés par des rejets de substances dangereuses déclenchés par l'inondation.** Ce sont ces rejets de substances dangereuses des contenants industriels déclenchés par l'inondation qui peuvent évoluer en phénomènes dangereux (incendies, explosions, pollutions) (figure 22).

L'inondation peut donc toucher plusieurs parties de l'entreprise (impacts directs) mais seulement certains **équipements sont considérés potentiellement critiques vis-à-vis des accidents Natech inondation. Il s'agit des équipements qui contiennent des substances dangereuses, et qui sont nommés équipements critiques pour la suite du mémoire.** C'est principalement les dommages à ces équipements industriels qui vont être responsables du rejet de substances dangereuses (en anglais, LOC : Loss Of Containment). Et les rejets de substances dangereuses à leur tour sont responsables des accidents technologiques (impacts induits) (figure 22).

Tableau 12 : Impacts de l'inondation sur une installation industrielle et son environnement. Adapté de (Ledoux, 2000) (EPL, consulté le 10 Novembre 2010) (INERIS, 2004) (Mengual, 2005) (Cozzani et al., 2010) et en se basant sur les définitions données en 2.1.3.1.

Catégories d'impacts	Dénomination des impacts
Impacts directs	- Dégradation ou destruction des bâtiments : Huisseries, sols, murs, plafonds,… - Dégradation ou destruction des équipements : Equipements électriques, thermiques (fours, chaudières, compresseurs, pompes, moteurs à combustion), mécaniques, de bureau (meubles et papiers), réseaux électriques, gaz et fluides. - Dégradation ou destruction des stocks de matières premières et de produits finis. - Dégradation ou destruction des biens situés sur les aires extérieures : Véhicules, stocks, clôture,… - Impacts sur la santé du personnel : Pertes de vies humaines, effets sur la santé à long terme.
Impacts indirects	- Pertes d'exploitation. - Perte de clientèle. - Dégradation de l'image de marque de l'entreprise. - Dégradation des relations avec les fournisseurs. - Dégradation des relations avec les banques. - Impacts psychologiques sur le personnel : Etat de stress post-traumatique. - Coût relatif au nettoyage et à la remise en état du site. - Chômage technique.
Impacts induits	- Incendie. - Explosion. - Pollution diverses : Pollution atmosphérique et contamination des eaux de surface, des nappes phréatiques et des sols. - Atteintes aux tiers et aux industries avoisinantes: Dommages matériels et/ou corporels.

Ainsi, il est possible de déduire que **l'évènement critique, dans le cas d'un accident Natech inondation, est le dommage structurel à un équipement critique** (impact direct)**, qui est responsable du LOC** (figure 22)**.**

Les études REX ont aussi démontré **qu'en fonction de l'intensité de l'aléa naturel inondation** (fort, moyen, faible), mesurée par l'intermédiaire des deux paramètres vitesse d'écoulement et hauteur des eaux d'inondation, **ces dernières sont capables de provoqués différentes catégories de dommages structuraux** aux équipements critiques et ainsi **affecter l'intensité des LOC** (figure 22).

Donc, **pour chaque équipement critique identifié, une liste de dommages structuraux (évènements critiques) peut être attribuée, dépendant de l'intensité de l'aléa inondation. Et à chaque dommage correspondra une catégorie de rejet de substances dangereuses** : R1, R2, R3 (Antonioni et al., 2009).

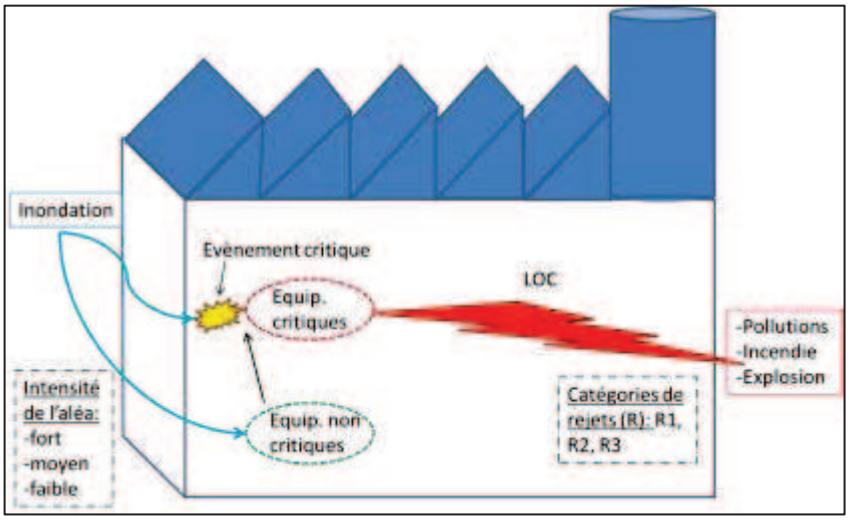


Figure 22 : Schéma du déroulement d'un phénomène Natech inondation.

Les notions abordées dans cette synthèse sont décrites plus en profondeur dans les paragraphes suivants.

2.1.3.4 Dommages structuraux des équipements critiques et catégories de rejets de substances dangereuses

i) Identification des équipements critiques présents dans une installation industrielle vis-à-vis du risque Natech inondation

Cette identification des équipements critiques s'est appuyée sur deux types d'analyse :

- L'étude faite dans le cadre du projet ARAMIS (MEDDE-Direction des risques accidentels, 2004),
- L'analyse des équipements critiques les plus fréquemment endommagés par les eaux d'inondation (Cozzani et al., 2010).

Dans le projet ARAMIS, une liste assez exhaustive **de catégories d'équipements industriels potentiellement critiques que l'on peut rencontrer dans une installation industrielle** est identifiée. Ces catégories d'équipements ont été organisées en unités fonctionnelles de l'industrie : unité de stockage, unité de (dé)chargement, réseau de canalisations et équipements process. Cette typologie d'équipements industriels potentiellement critiques est présentée dans l'annexe 3.

Dans le cadre du projet ARAMIS la sélection des équipements critiques est effectuée en deux étapes. La première étape est une sélection des équipements en fonction de la quantité de substances dangereuses contenues dans l'équipement qui doit être supérieure à une quantité seuil. La deuxième sélection correspond à la possibilité d'effet domino : il s'agit des équipements contenant des produits explosifs ou inflammables, situés à moins de 50 m d'un équipement sélectionné à la première étape et dont la quantité de substance dangereuse est supérieure à une quantité seuil. Un effet domino étant la

« propagation d'un scenario d'accident au niveau d'un équipement qui n'est pas directement impliqué dans l'accident initial » (Cozzani et al., 2005).

Dans le cas de l'inondation d'une installation industrielle, **les réservoirs de stockage (74%) et les canalisations (17%) sont les équipements critiques qui ont été le plus fréquemment endommagés** (figure 23a) (Cozzani et al., 2010). Les réacteurs cylindriques (5%) et les compresseurs et les pompes (4%) quant à eux sont moins souvent endommagés par les eaux d'inondation.

La figure 23b présente en détails les catégories de réservoirs de stockage qui ont été endommagés. Cette dernière indique que les réservoirs de stockage atmosphériques sont de loin la catégorie de réservoirs de stockage la plus endommagée par l'inondation provoquant un LOC. Ceci est notamment dû à leur structure qui est moins résistante (Cozzani et al., 2010).

En ce qui concerne les réacteurs industriels cylindriques (figure 23c), il a été remarqué que les séparateurs sont les équipements qui sont principalement touchés (92%). Cette apparente fréquence élevée d'accidents impliquant les séparateurs est notamment due à la classification générique adoptée des équipements industriels dans les bases de données analysées (Cozzani et al., 2010).

Les équipements potentiellement critiques les plus fréquemment endommagés durant une inondation sont résumés dans le tableau 13.

Tableau 13 : Equipements potentiellement critiques les plus fréquemment endommagés durant une inondation.

Unité fonctionnelle	Type d'équipements critiques	Description
Unité de stockage	Réservoir de stockage atmosphérique	Réservoir de stockage à température et pressions ambiantes et contenant une substance à l'état liquide
Unité de production	Réacteur atmosphérique	Réacteur fonctionnant à température et pression ambiantes et contenant une substance à l'état liquide
Unité de production	Réservoir de stockage intermédiaire (atmosphérique)	Réservoir de stockage intermédiaire situé au niveau de l'unité de production: Réservoir atmosphérique contenant une substance à l'état liquide
Réseau de canalisations	Canalisations aériennes	L'ensemble du réseau de canalisations aériennes: reliant deux unités fonctionnelles différentes ou bien reliant deux équipements différents à l'intérieur d'une même unité fonctionnelle, contenant des substances à l'état liquide

ii) L'intensité de l'aléa inondation

L'étude bibliographique a mis en exergue **qu'en fonction de l'intensité de l'aléa inondation, les eaux peuvent induire des catégories différentes des dommages structuraux aux équipements critiques.** L'intensité de l'aléa inondation est caractérisée par l'un des deux ou les deux paramètres suivants : la hauteur de submersion et la vitesse d'écoulement des eaux d'inondation (réf. Chapitre 1 section 1.3.1). Un exemple de la classification de l'intensité de l'aléa inondation en fonction de la hauteur et de la vitesse des eaux d'inondation est celle qui est effectuée dans le cadre du PPRI (tableau 4 page 36).

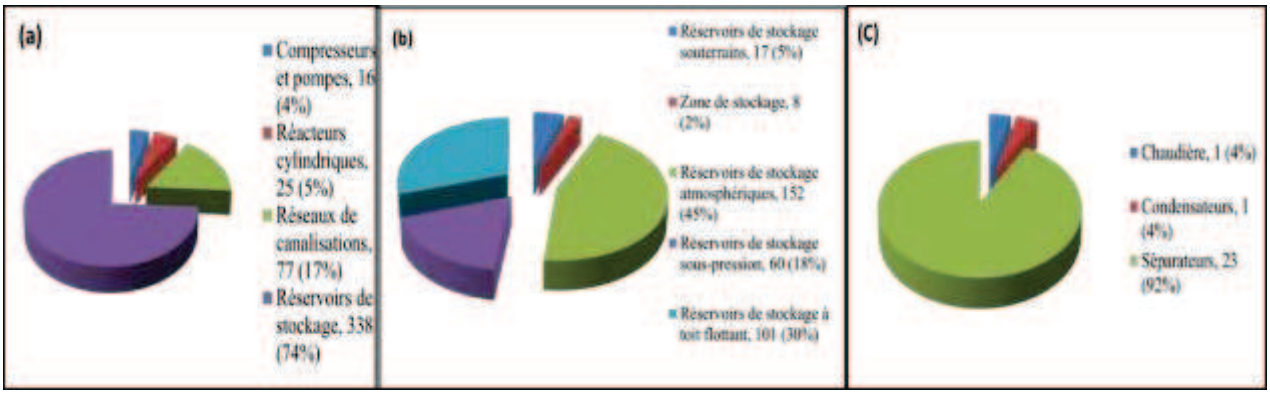

(a)
Compresseurs et pompes, 16 (4%)
Réacteurs cylindriques, 25 (5%)
Réseaux de canalisations, 77 (17%)
Réservoirs de stockage, 338 (74%)
(b)
Réservoirs de stockage souterrains, 17 (5%)
Zone de stockage, 8 (2%)
Réservoirs de stockage atmosphériques, 152 (45%)
Réservoirs de stockage sous-pression, 60 (18%)
Réservoirs de stockage à toit flottant, 101 (30%)
(C)
Chaudière, 1 (4%)
Condensateurs, 1 (4%)
Séparateurs, 23 (92%)

Figure 23 : Catégories d'équipements principalement impliqués dans les accidents Natech inondation. (a) catégorie générale ; (b) détails des réservoirs de stockage ; (c) détails des réacteurs industriels cylindrique (Cozzani et al., 2010).

Par ailleurs, dans l'étude REX, **les informations portant sur les paramètres caractérisant l'intensité de l'inondation sont assez descriptives, vagues ou parfois même non précisées.** La hauteur est plus souvent mentionnée que la vitesse, vu la difficulté de la mesurer à un point donné de l'entreprise afin d'estimer les dommages. Sans oublier également qu'il existe des incertitudes de mesures de ces deux paramètres (réf. Chapitre 1 section 1.3.1).

La figure 24 démontre que parmi les 272 accidents analysés dans (Cozzani et al., 2010), 39 rapports d'accidents seulement mentionnent des données quantitatives de hauteur et de vitesse d'eaux d'inondation responsables de l'accident. Dans 9 évènements, une indication générique de l'intensité de l'inondation est donnée.

Pour 18 évènements, il a été possible d'obtenir des données sur la hauteur d'eau (figure 25). Cette dernière suggère que des inondations de hauteur d'eau supérieure à 1m ont été responsables des dommages structuraux aux équipements critiques dans 50% des cas considérés.

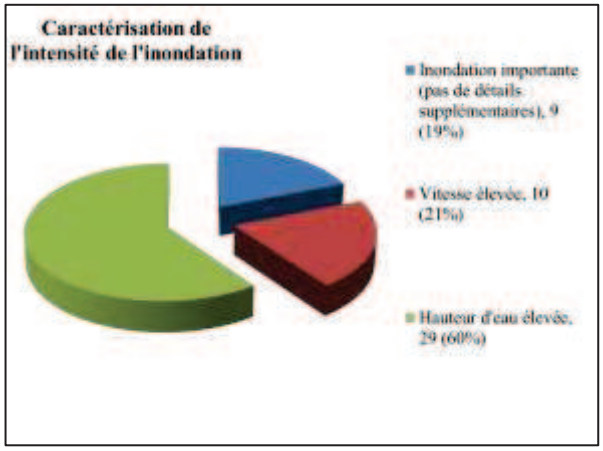

Caractérisation de l'intensité de l'inondation
Inondation importante (pas de détails supplémentaires), 9 (19%)
Vitesse élevée, 10 (21%)
Hauteur d'eau élevée, 29 (60%)

Figure 24 : Caractérisation de l'intensité de l'inondation basée sur 48 accidents rapportés avec un degré de détails suffisant (Cozzani et al., 2010).

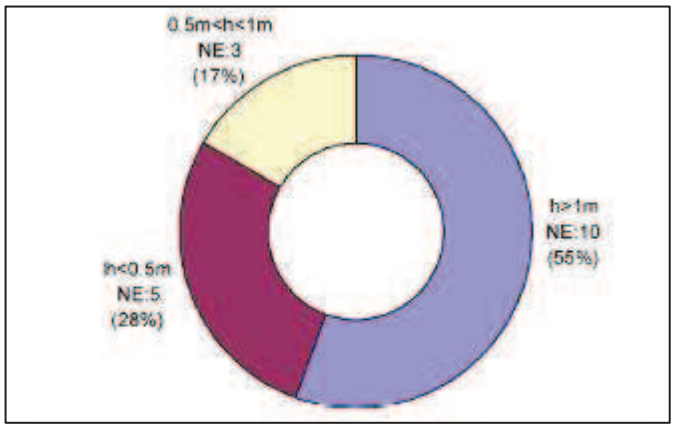


Figure 25 : Classification de 18 accidents Natech inondation basée sur la hauteur des eaux d'inondation (h : hauteur d'eau en m ; NE : Nombre d'Evènements) (Cozzani et al., 2010).

iii) Les intensité de rejets de substances dangereuses (R)

Les différentes catégories de dommages structuraux des équipements critiques peuvent provoquer **différentes intensités de rejets de substances dangereuses**. En conséquence, trois catégories de rejets (intensité de LOC) peuvent être retenues (Antonioni et al., 2009):

- R1 : rejet instantané de l'ensemble de contenant de l'équipement critique,
- R2 : rejet continu de l'ensemble du contenant de l'équipement en un lapse de temps limité,
- R3 : rejets mineurs.

Les intensités des LOC, représentées par les catégories de rejets (R), vont influencer les phénomènes dangereux finaux.

iv) Les évènements critiques (les dommages structuraux aux équipements critiques)

A chaque équipement critique identifié, une liste de dommages structuraux (évènements critiques) peut être définie, dépendant de l'intensité de l'aléa inondation. Et à chaque dommage il est possible d'associer une catégorie de rejet de substances dangereuses.

Le tableau 14 résume **les différents dommages structuraux provoqués aux équipements critiques les plus communément endommagés en cas d'inondation,** en fonction des trois classes d'intensité de l'aléa inondation prescrites par le PPRI. Les différentes catégories de rejets correspondantes sont également mentionnées.

Compte tenu des données limitées, imprécises et essentiellement qualitatives, une évaluation quantitative et une hiérarchisation du risque Natech inondation semble actuellement fort peu réalisable.

Tableau 14: Dommages structuraux provoqués aux équipements critiques les plus communément endommagés en cas d'inondation et leur catégorie de rejets correspondante, en fonction des trois classes d'intensité de l'aléa inondation. Adapté de (EL HAJJ et al., 2012).

Intensité de l'aléa inondation	Dommages structuraux	Description des dommages structuraux	Catégories de rejets
Faible	-	-	
Intermédiaire	Brèche du contenant (Large, moyenne, petite)	Brèche du contenant de l'équipement conduisant à une fuite continue. Les dommages sont principalement causés par les débris externes ou des objets flottant dans les eaux d'inondation. La brèche peut avoir des dimensions différentes en fonction des objets impactant l'équipement.	R2, R3
	Rupture de canalisations (Partielle, totale)	Brèche au niveau de la canalisation conduisant à une fuite continue. Les dommages sont principalement causés par les débris externes ou des objets flottant dans les eaux d'inondation. La rupture partielle d'une canalisation de grand diamètre peut provoquer une fuite d'intensité moyenne. La rupture totale d'une canalisation de petit diamètre ou des ruptures partielles d'une canalisation de grand diamètre peuvent être responsable d'une fuite d'intensité faible.	R2, R3
	Noyage de l'équipement	Rejet de la substance liquide suite à l'entrée des eaux d'inondation dans une cuve ou un réacteur ouvert.	R2
Important	Renversement de l'équipement	Déversement de l'ensemble de la substance contenue dans un équipement, ce qui conduit au rejet total et instantané de la substance liquide. Le renversement peut être causé par l'énergie cinétique des eaux d'inondation, l'impact des eaux d'inondation avec la base de l'équipement ou bien l'impact avec un équipement adjacent.	R1
	Brèche du contenant (Large, moyenne, petite)	Brèche du contenant de l'équipement conduisant à une fuite continue. Les dommages sont principalement causés par les chocs avec les débris externes ou les objets flottants dans les eaux d'inondation, flottement de l'équipement suivi de l'impact avec d'autres équipements ou bien brèche causée par l'énergie cinétique de l'eau.	R2
	Rupture de canalisations (Partielle, totale)	Brèche au niveau de la canalisation conduisant à une fuite continue. Les dommages sont principalement causés par les chocs avec des débris externes ou bien des objets flottants dans les eaux d'inondation et l'énergie cinétique des eaux d'inondation. La rupture totale d'une canalisation de grand diamètre peut provoquer une fuite d'intensité importante. La rupture partielle d'une canalisation de grand diamètre peut être responsable d'une fuite d'intensité moyenne. La rupture totale d'une canalisation de petit diamètre ou des ruptures partielles d'une canalisation de grand diamètre peuvent être responsable d'une fuite d'intensité faible. L'impact de la base de l'équipement par les eaux d'inondation peut amener à la rupture des canalisations connectées à l'équipement.	R2, R3
	Noyage de l'équipement	Rejet de la substance liquide suite à l'entrée des eaux d'inondation dans une cuve ou un réacteur ouvert.	R2

Ainsi, le manque de données portant sur les accidents technologiques induits par l'inondation et le manque de détails sur les mécanismes de ces évènements (qui sont descriptives pour la plupart) rend difficile l'établissement d'une corrélation entre l'intensité de l'aléa naturel inondation (hauteur et vitesse des eaux) et les dimensions des dommages structuraux induits aux équipements critiques (tels que la brèche du contenant qui peut être large, moyenne, petite). Il est donc quasiment impossible de développer des courbes reliant l'intensité de l'inondation aux dommages structuraux des équipements industriels (style courbes de dommages comme cela est réalisé pour le risque Natech sismique), courbes qui permettent une analyse quantitative du risque. Ainsi, les données relatives à l'intensité de l'aléa inondation et aux différentes dimensions de dommages structuraux induits aux équipements critiques ne sont plus considérées dans la suite du manuscrit.

2.1.3.5 Les causes potentielles des évènements critiques

Il est important de préciser que **la plupart des analyses existantes** de bases de données d'accidentologie portent **sur les chemins d'accidents qui suivent les LOC (leurs conséquences).** Aucune analyse portant sur les causes de ces LOC n'existe jusqu'à présent (les chemins depuis l'aléa naturel jusqu'aux dommages structuraux responsables du LOC). Ce travail de recherche servira, entre autres, à compenser cette lacune d'informations.

L'analyse REX a démontré que **les évènements critiques (dommages structuraux aux équipements critiques) peuvent résulter soit d'effets directs des eaux d'inondation soit d'effets indirects.**

Les effets directs des eaux d'inondation (sur les équipements critiques) correspondent aux conséquences des eaux d'inondation ou de matériaux transportés par ces eaux sur les équipements critiques. Ces derniers sont responsables d'ondes de choc capables de provoquer des dommages structuraux aux équipements critiques et qui sont dus à des impacts:

- des eaux d'inondation,
- de débris externes contenus dans les eaux d'inondation,
- d'équipements industriels non critiques charriés par les eaux d'inondation,
- des équipements industriels critiques mis en mouvement par les eaux d'inondation,
- avec des d'autres équipements industriels suite à la mise en mouvement par les eaux d'inondation de l'équipement critique lui-même,
- avec des structures de bâtiment charriées par les eaux d'inondation.

Les effets indirects des eaux d'inondation (sur les équipements critiques) sont les conséquences des eaux d'inondation ou de matériaux contenus dans les eaux d'inondation sur d'autres équipements industriels et capables de provoquer des dommages structuraux aux équipements critiques. Il s'agit de :

- défaillances de systèmes de contrôle de température qui peuvent causer une variation de température de l'équipement critique,
- défaillances de système de chauffage ou de refroidissement provoquant une variation de température de l'équipement critique,
- défaillances de systèmes électriques qui peuvent être responsable d'onde de chaleur, potentielle source d'incendie endommageant l'équipement critique,

- effets domino des phénomènes dangereux déclenchés (incendies et explosions) qui peuvent être responsable d'onde de chaleur, de choc et/ou de missiles provoquant des dommages supplémentaires aux équipements critiques.

2.1.3.6 Les conséquences potentielles des évènements critiques

Dans le cas de ce travail de recherche, **le scénario final (phénomène dangereux)** le plus fréquent est la pollution des eaux. Cela est illustré dans l'étude de (Cozzani et al., 2010) (figure 26). Ceci est dû à la diffusion par les eaux d'inondation des substances toxiques rejetées des équipements critiques, provoquant la pollution des eaux de surface, des nappes phréatiques et du sol.

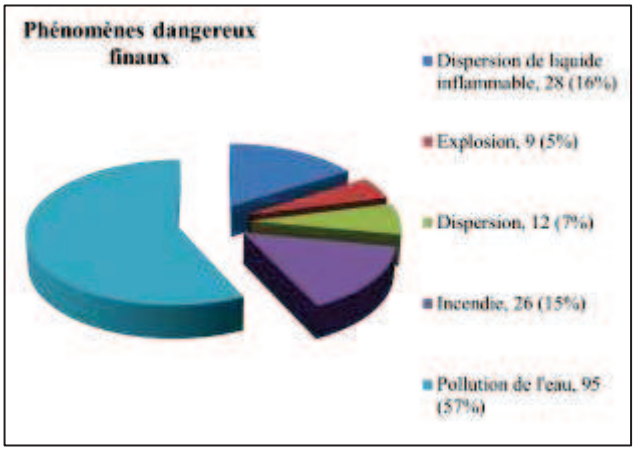


Figure 26 : Nombres et pourcentages des phénomènes dangereux finaux initiés par l'inondation d'installations industrielles, basés sur 170 accidents reportés (Cozzani et al., 2010).

La figure 26 montre que d'autres phénomènes dangereux déclenchés par l'inondation sont : les incendies et les explosions. Ces scénarios finaux sont typiques des accidents technologiques des installations industrielles manipulant ou stockant des substances toxiques et inflammables.

Ces accidents technologiques typiques peuvent être amplifiés par :

- les effets dominos, les substances dangereuses réagissant avec les incendies et les ondes de chaleur rejetées peuvent à leur tour provoquer des phénomènes dangereux ;
- les conditions de rejets de substances dangereuses, tels que : la présence de source d'ignition qui va conditionner l'inflammabilité de certaines substances rejetées ou le confinement qui va conditionner l'explosion d'autres substances dangereuses rejetées.

Mais ces phénomènes dangereux peuvent être aussi provoqués par la présence abondante de l'eau dans le cas d'une inondation. Ainsi, en présence de substances qui réagissent violemment avec l'eau, et suite à leur contact avec l'eau, des dégagements de gaz toxiques et inflammables peuvent être déclenchés. Ces gaz peuvent provoquer des incendies, explosions ou pollutions de l'air. Ceci signifie que dans le cas de l'inondation, en plus des scénarios d'accidents technologiques conventionnels, il est nécessaire de considérer les scénarios d'accidents provoqués par le rejet de substances chimiques réagissant violemment avec l'eau.

Les scénarios d'accidents qui suivent les LOC dépendent donc des propriétés des substances rejetées. Dans le cas des accidents Natech inondation, **quatre types de substances dangereuses**

peuvent provoquer des phénomènes dangereux: les substances inflammables, toxiques, réagissant violemment avec l'eau et réagissant avec les incendies et autres ondes de chaleur.

2.1.3.7 Synthèse analyse REX

La figure 27 synthétise l'ensemble des résultats obtenus à la suite de l'étude REX portant sur les Natechs inondation.

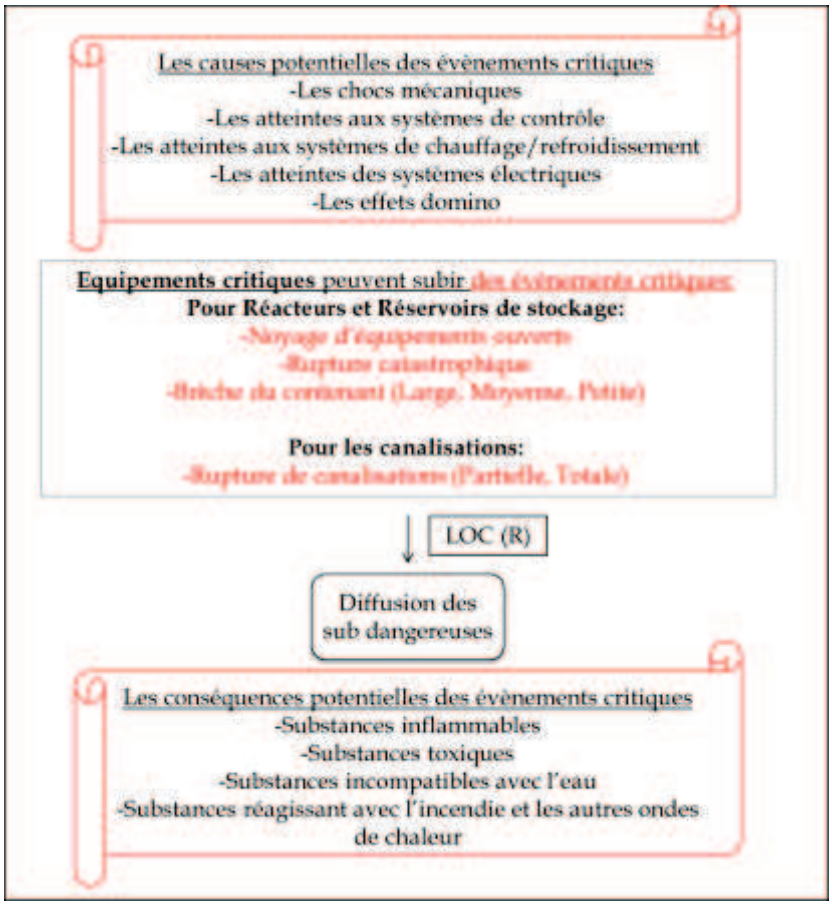

Les causes potentielles des évènements critiques
-Les chocs mécaniques
-Les atteintes aux systèmes de contrôle
-Les atteintes aux systèmes de chauffage/refroidissement
-Les atteintes des systèmes électriques
-Les effets domino
Equipements critiques peuvent subir
Pour Réacteurs et Réservoirs de stockage:
Pour les canalisations:
LOC (R)
Diffusion des sub dangereuses
Les conséquences potentielles des évènements critiques
-Substances inflammables
-Substances toxiques
-Substances incompatibles avec l'eau
-Substances réagissant avec l'incendie et les autres ondes de chaleur

Figure 27 : Synthèse des résultats de l'étude REX (LOC : Loss Of Containment ; (R) : Intensité de rejet).

Ainsi, les données portant sur les accidents Natech inondation sont assez rares. Si elles sont présentes, elles sont la plupart du temps qualitatives et imprécises rendant difficile toute tentative de proposition de méthodologie d'analyse de risque quantitative et d'évaluation et de hiérarchisation de risque. En effet, il existe un manque important de détails par rapport aux types de dommages provoqués par l'inondation au niveau des équipements industriels, aux intensités de l'aléa provoquant ces dommages, aux intensités de rejets de substances dangereuses suivant les dommages, aux conséquences des accidents ainsi que leurs causes. Ceci a joué un rôle dans l'orientation de notre méthodologie d'analyse de risques qui est plutôt qualitative et qui ne présente pas d'évaluation du risque Natech. Notre méthodologie aboutira entre autres, à l'élaboration de scénarios d'accidents génériques Natech inondation qui vont permettre de mieux comprendre les mécanismes de ces accidents.

2.2 Deuxième étape : Modélisation d'un site industriel et de son environnement

Suite à l'étude REX portant sur les Natechs inondation, les deux étapes suivantes (étape 2 et 3 de la figure 18 page 82) se basent principalement sur la méthode MADS-MOSAR, qui est toutefois complétée par d'autres méthodes pour répondre à nos besoins. Etant donné que cette méthode n'a pas été développée pour la problématique Natech, plusieurs adaptations sont nécessaires et sont présentées plus en détails dans les prochains paragraphes: la modélisation contextuelle/conceptuelle systémique d'une installation industrielle, le modèle MADS, le tableau A et le principe des boîtes noires pour le développement des scénarios.

Cette section commence, tout d'abord, par l'illustration de l'importance de la modélisation en entreprise, et plus précisément dans la discipline de maîtrise des risques. Ensuite, la modélisation d'une installation industrielle menacée par l'aléa naturel inondation est présentée. C'est une étape importante facilitant l'analyse de risques : Elle est utilisée pour organiser les informations obtenues suite à l'étude REX afin de conduire une analyse de risques rigoureuse et exhaustive.

2.2.1 Modélisation en entreprise

Un **système** est un « ensemble d'éléments en interaction dynamique, organisés en fonction d'un but ». Les **éléments** d'un système sont les parties ou les constituants du système ; ils peuvent être eux-mêmes des ensembles constitués d'autres éléments. Les **interactions** qu'entretiennent ces éléments entre eux peuvent être de nature diverses (informationnelles, matérielles, organisationnelles…) (Dassens, 2007). Quand le nombre d'éléments constituant le système et leurs interactions sont importants, le système peut être qualifié de complexe.

L'analyse de la définition d'une entreprise montre qu'il s'agit d'un système complexe. L'entreprise est « une organisation économique intégrée dans un environnement. Elle est composée d'êtres humains et de moyens (financiers, physiques, informationnels,...) réunis en vue de produire des biens ou des services. Elle est organisée par un centre de décision (les dirigeants) disposant d'une certaine autonomie et orientant les activités de manière à dégager un excédent (un bénéfice)» (Vernadat, 1999).

MOSAR voit l'installation à étudier comme un système complexe richement organisé, générateur d'inconnu car capable d'innover pour s'adapter à ses propres évolutions et à celles de son environnement. De ce fait selon (Périlhon, 2007), une installation industrielle est un système complexe pouvant être simplifié. Cette vision conduit à envisager l'installation dans toute sa complexité tout en étant conscient qu'il est obligatoire de la découper pour pouvoir l'analyser.

Selon (Périlhon, 2007), « la systémique est fondamentalement la constitution et la mise en œuvre de moyens de représentation et de modélisation. Elle fait un usage important des possibilités de l'analogie et utilise comme objet conceptuel de base la notion de système » (Braesch et Haurat, 1995).

La systémique propose de ne pas se contenter de découper, décortiquer, hiérarchiser une réalité, pour mieux la comprendre, mais de développer des modèles qui vont permettre de retrouver les relations entre les éléments découpés (Périlhon, 2007).

Un modèle quant à lui est par définition « une représentation d'une abstraction d'une partie du monde réel, exprimée dans un langage de représentation » (Vernadat, 1999). **Il est possible donc d'avancer qu'un modèle peut être une représentation simplifiée d'un système complexe** (figure

28). (Braesch et Haurat, 1995) précisent que « les moyens de modélisation vont permettre de comprendre, représenter (en utilisant un langage bien précis) et superviser des systèmes perçus complexes ».

La modélisation peut avoir des objectifs différents tels que : La compréhension, l'analyse du système pour comprendre les phénomènes qui caractérisent son évolution, la prévention afin d'être capable d'anticiper l'évolution future du système, l'évaluation et l'analyse des stratégies, la régulation du système, la modification de l'environnement, l'optimisation…(Graillot, 2012)

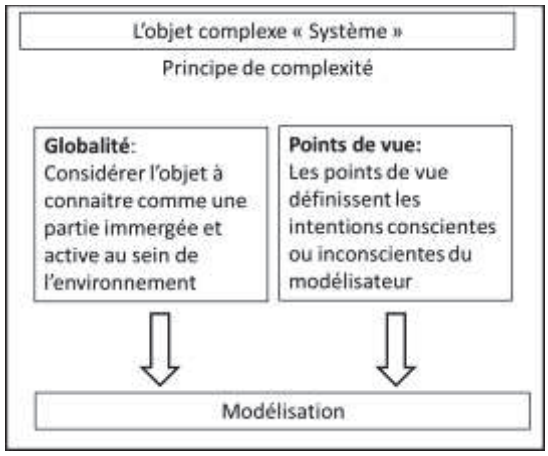

L'objet complexe « Système »
Principe de complexité
Globalité:
Considérer l'objet à connaitre comme une partie immergée et active au sein de l'environnement
Points de vue:
Les points de vue définissent les intentions conscientes ou inconscientes du modélisateur
Modélisation

Figure 28 : Illustration du passage du systèm à la modélisation (Périlhon, 2007).

En fonction de ces objectifs, le système est appréhendé différemment et ainsi sa modélisation revêt différents points de vue ou différents niveaux (Pollet, consulté le 15 Mars 2013). (Pollet, consulté le 18 septembre 2012), parle de 3 niveaux d'abstraction du système (figure 29). L'élément de plus haut niveau est le périmètre du système étudié et la stratégie associée (identification et conceptualisation). Ensuite, en fonction de l'objectif de l'étude, la modélisation devient de plus en plus détaillée, telle que l'analyse structuro-fonctionnelle dans le cas du SADT à l'échelle d'une entreprise bien spécifique.

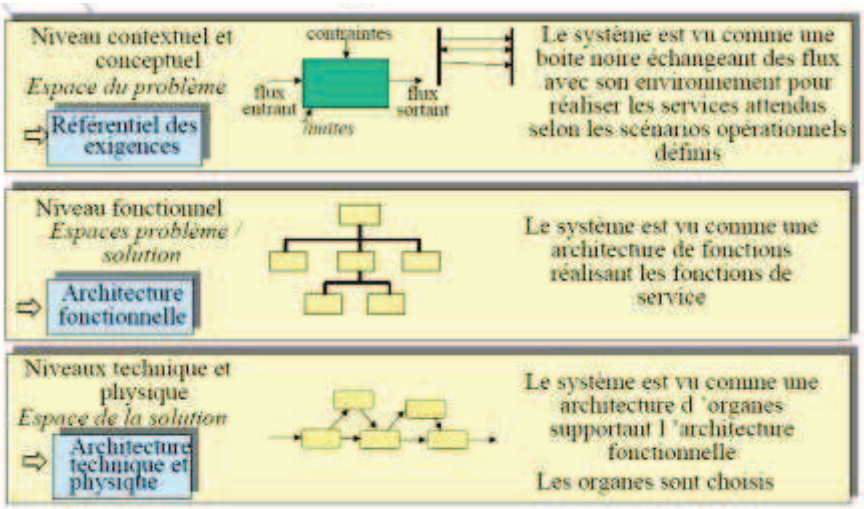

Niveau contextuel et conceptuel
Espace du problème
Référentiel des exigences
contraintes
flux entrant
flux sortant
limites
Le système est vu comme une boite noire échangeant des flux avec son environnement pour réaliser les services attendus selon les scénarios opérationnels définis
Niveau fonctionnel
Espaces problème / solution
Architecture fonctionnelle
Le système est vu comme une architecture de fonctions réalisant les fonctions de service
Niveaux technique et physique
Espace de la solution
Architecture technique et physique
Le système est vu comme une architecture d 'organes supportant l 'architecture fonctionnelle
Les organes sont choisis

Figure 29 : Représentation des niveaux d'abstraction des systèmes (Pollet, consulté le 15 Mars 2013).

En réalité, une modélisation dépend de l'objectif final que l'on veut atteindre. Ainsi, tout d'abord une modélisation conceptuelle générique d'une installation industrielle a été élaborée afin de définir le contexte d'étude et dans le but de la placer dans son environnement. Ensuite,

une modélisation partielle fonctionnelle d'un type particulier d'entreprise a été adaptée dans le but de valider les scénarios d'accidents développés (chapitre 3).

2.2.2 Modélisation contextuelle/conceptuelle d'une ICPE et identification des systèmes sources de danger concernés par le risque Natech inondation

Le but de cette étape est de diviser le système installation industrielle en plusieurs sous-systèmes, responsable du déclenchement d'accidents technologiques majeurs suite à l'inondation du site. Cette décomposition est une étape importante qui permet de faciliter l'analyse du risque Natech inondation en organisant les informations obtenues de l'étude REX et afin de conduire une analyse de risque rigoureuse et exhaustive.

En s'inspirant de la méthode MOSAR (Périlhon, 2007), le contexte d'étude a été défini en utilisant le principe de la modélisation contextuelle/conceptuelle d'une ICPE (figure 30).

Dans le cas de ce mémoire, l'attention a porté, d'une part, sur l'impact de l'inondation sur l'installation industrielle et, d'autre part, sur l'impact de l'installation inondée sur l'environnement. Ainsi, le contexte d'étude peut être divisé en deux grands sous-systèmes : le système principal à analyser qui est l'installation industrielle et son environnement constitué de l'eau, le sol, l'air et les habitants, leurs biens et les autres entreprises situés au voisinage de l'industrie.

Ensuite une seconde décomposition est effectuée, il s'agit de celle de l'installation industrielle afin d'étudier les interactions entre les composantes de l'industrie et construire les scénarios d'accidents potentiels en cas d'inondation.

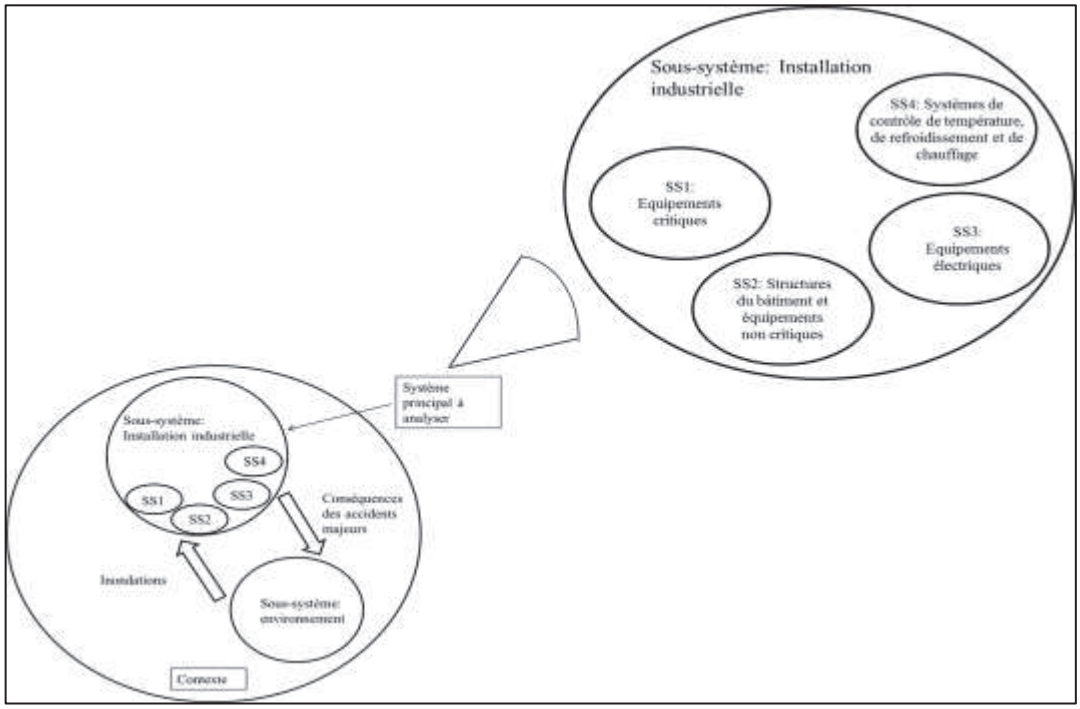


Figure 30: Modélisation générique contextuelle/conceptuelle d'une installation industrielle type ICPE (SS: Sous-Système). Adapté de (Périlhon, 2007).

2.2.2.1 Le système principal

Le système principal constituant le contexte d'étude est l'installation industrielle sur laquelle l'analyse du risque est effectuée tout en prenant en compte les différentes composantes, leurs interactions et les interactions avec l'environnement (analyse systémique). En se basant sur l'étude bibliographique, les parties de l'industrie impliquées, directement et indirectement, dans la génération d'accidents technologiques induits par l'inondation (les sources de danger) ont été prises en considération. Ces sous-systèmes ont été regroupés en fonction de la nature des flux de danger générés (figure 30):

- **SS1 : Les équipements identifiés comme étant critiques.** Il s'agit des équipements dont les dommages sont responsables des LOCs, donc des équipements qui contiennent des substances dangereuses. Les équipements pris en compte sont ceux communément retrouvés dans les industries chimiques. **Ils ont été définis à la base de l'étude REX dans laquelle les catégories d'équipements les plus fréquemment endommagés suite à l'inondation de l'industrie** ont été identifiées (tableau 13). **Ainsi, les réservoirs de stockage atmosphériques (les réservoirs de stockage et les réservoirs de stockage intermédiaire), les réacteurs atmosphériques et les canalisations aériennes ont été retenus.** Les équipements industriels sous-pression n'ont pas été pris en compte par l'étude, ni les équipements contenant des substances chimiques solides ou gazeuses, afin de limiter le périmètre de l'étude.
  A l'échelle spécifique d'une entreprise particulière, le choix des équipements critiques et non critiques s'est basé sur la classification ICPE. Ainsi, les équipements classés ICPE doivent être croisés avec la typologie des équipements pris en compte dans le cadre de cette étude (tableau 13) pour déduire ceux qui vont être concernés par la méthodologie adoptée.
  En effet, la législation ICPE (INERIS, 2010) (GAMBELLI et al., 2005) :
  - Considère la classification des substances et préparations chimiques associée à des phrases de risques spécifiques comme base pour le classement d'une substance ou d'une préparation dangereuse sous une rubrique de la nomenclature.
    Les substances et les préparations prises en compte sont celles qui correspondent aux indications de danger suivantes : T (Toxique), T+ (Très toxique), O (comburante), E (explosive), F (inflammable), F+ (très inflammable), N (dangereuses pour l'environnement), sans oublier les substances et préparations qui, au contact de l'eau, réagissent violemment ou dégagent des gaz toxiques.
    Les phrases de risque considérées correspondent aux quatre types de substances dangereuses prises en compte dans le cadre de ce travail de recherche :

    - Les substances inflammables : R10, R11, R12, R17, R18, R30 ;
    - Les substances toxiques : R23, R24, R23/R24, R23/R25, R23/R24/R25, R24/R25, R39/R23, R39/R24, R39/R23/R24, R39/R23/R25, R39/R24/R25, R39/R23/R24/25, R26, R27, R26/R27, R26/R28, R26/R27/R28, R29/R26, R39/R27, R39/R26/R27, R39/R26/R28, R39/R26/R27/R28, R50, R51 ;
    - Les substances réagissant violemment avec l'eau : R14, R29, R14/15 ;
    - Les substances réagissant avec les incendies et les autres ondes de chaleur : R2 et R3.

  - Prend en compte l'ensemble des équipements d'une installation industrielle qui contiennent des substances classées.

- **SS2 : Les structures du bâtiment et les équipements non critiques** (autres équipements industriels classés non critiques). Ce sous-système est notamment responsable d'ondes de choc susceptibles d'endommager les équipements critiques.
- **SS3 : Les équipements électriques** qui peuvent être responsables d'ondes thermiques suivies d'incendie.
- **SS4 : Les systèmes de contrôle de température, de refroidissement et de chauffage** qui peuvent être notamment responsables de déclenchement de réactions endommageant les équipements critiques.

Encart 3 : Le système de contrôle (connu sous le nom de système de réglage) est constitué par :

- Le système de mesure ; exemple la sonde de mesure de température
- Le système régulateur qui envoie les commandes
- L'organe de réglage ; exemple des vannes.

Ce système va déclencher l'ouverture ou la fermeture des organes de réglage reliés aux systèmes de chauffage et de refroidissement par exemple pour contrôler la température d'un équipement industriel.

Si l'une des composantes du système de contrôle est défaillante, l'ensemble du système de contrôle est alors défaillant (absence de réglage de température dans le cas de l'exemple ci-dessus).

Dans la méthode MOSAR, (Périlhon, 2007) propose de choisir le sous-système sur lequel va porter l'analyse en fonction des parties de l'installation industrielle qui semblent les plus dangereux. C'est ce qui a été fait dans ce manuscrit en prenant en compte les parties de l'industrie qui sont impliquées dans la génération d'accidents technologiques induits par l'inondation.

Par contre, dans la méthode MOSAR (Périlhon, 2007), le sous-système principal est redécomposé d'une manière fonctionnelle c'est-à-dire « les éléments isolés sont ceux qui sont homogènes, qui ont leur propre fonction, qui ont leur propre finalité dans cette chaine, en bref, qui répondent aux critères d'un système ». Cela est possible dans le cadre de la méthode MOSAR comme la modélisation conceptuelle/contextuelle proposée est spécifique c'est-à-dire applicable à une installation industrielle précise. Or, dans le cas de notre étude, et plus particulièrement dans cette étape de la méthodologie, une modélisation conceptuelle/contextuelle d'une installation industrielle type ICPE est effectuée. Ainsi, il est quasi impossible d'imaginer une industrie en général d'une manière fonctionnelle, constituée de différents équipements sources de danger qui peuvent être retrouvés dans chaque fonction. A titre d'exemple, les équipements électriques qui peuvent se trouver dans différentes parties fonctionnelles de l'entreprise. Ainsi, il a été plus pertinent (pour éviter les répétitions) de diviser le système (sous-système) principal en fonction de la nature des flux de danger générés lors du phénomène Natech.

2.2.2.2 Le système environnement

Le second sous-système constituant le contexte est le sous-système environnement SS5 (figure 30). Il est constitué d'une part, des domaines environnementaux tels que l'eau, le sol et l'air et d'autre part, des habitants, de leurs biens et des autres entreprises situés aux alentours de l'installation industrielle.

2.2.2.3 Les interactions prises en compte

Dans le cas de cette étude, il est intéressant de se focaliser sur l'interaction entre le sous-système à analyser et le sous-système environnement : Le principal élément déclencheur des accidents majeurs est les eaux d'inondation et les conséquences à éviter sont celles de ces accidents sur l'environnement. L'environnement est considéré à la fois comme une source de danger et une cible (cas typique des accidents Natech) (figure 30). Autrement dit, ce sont **uniquement les dysfonctionnements qui sont dus à l'inondation** (l'environnement actif) qui sont considérés. Et ce sont **uniquement les conséquences de ces dysfonctionnements sur l'environnement (eau, air, sol et les enjeux aux alentours : habitations, habitants, entreprises voisines…)** qui sont étudiées.

La figure 31 représente en détails l'interaction entre le sous-système environnement et le sous-système installation industrielle (qui ont été présentés dans la figure 30), en utilisant le formalisme MADS (figure 12).

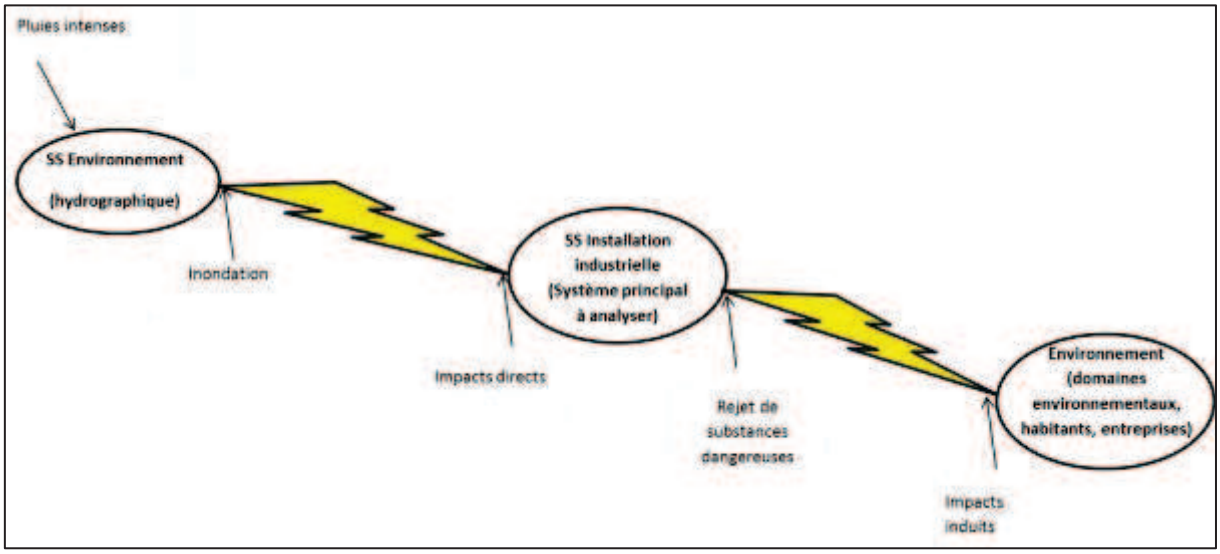


Figure 31: Représentation schématique d'un accident Natech inondation en utilisant le formalisme MADS.

La modélisation générique conceptuelle/contextuelle d'une installation ICPE a permis de la découper en plusieurs sous-systèmes sources de danger impliqués directement et indirectement dans la génération des accidents Natech inondation (figure 30). Elle a permis également de définir le contexte d'étude et de placer l'installation industrielle vis-à-vis de l'environnement (figure 30 et 31). Cela est nécessaire pour mettre en évidence d'une part les interactions entre les différents sous-systèmes constituant le système à analyser « l'installation industrielle » et d'autre part leur interaction avec l'environnement (approche systémique).

La suite de la méthodologie consiste à identifier l'ensemble de ces interactions qui sont concrétisées sous forme de **processus des dangers** c'est-à-dire des enchaînements issus de systèmes sources de danger et pouvant conduire à des évènements non souhaités (impacts induits) suivant l'inondation de l'industrie. Pour cela, des scénarios d'accidents doivent être élaborés. Pour finir, **les barrières de sécurité** à adopter au sein de l'entreprise sont définies pour réduire les dommages sur l'environnement.

2.3 Troisième étape : Développement des scénarios d'accidents technologiques induits par l'inondation (Natech inondation)

Le but de cette étape de la méthodologie est d'identifier les risques Natech et leur mécanisme d'apparition, dans chacun des sous-systèmes définis antérieurement. Pour cela, la méthode MOSAR (chapitre 1 paragraphe 1.5.4.2.i) a servi de base.

MOSAR est fondé sur le processus de danger MADS pour l'identification des mécanismes des accidents potentiels, la technique des boîtes noires pour l'identification des scénarios courts d'accidents et les arbres logiques pour la construction des scénarios longs sur la base des interactions entre les boîtes noires.

Ainsi, au préalable du descriptif des différentes phases de l'élaboration des scénarios Natech inondation, des détails théoriques nécessaires à la compréhension sont présentés, notamment le modèle MADS et la technique des boîtes noires. Ensuite, l'utilisation et l'adaptation de chacune de ces différentes parties dans le cadre de ce travail de recherche est expliquée. Les différences avec MOSAR et les raisons de ces déviations sont explicitées. Enfin, les principaux résultats obtenus aboutissant au développement de scénarios génériques d'accidents Natech inondation sont présentés.

2.3.1 Notions théoriques MOSAR : démarche de référence pour le développement des scénarios (Périlhon, 2007)

2.3.1.1 Le modèle MADS

Le modèle montre l'enchaînement des évènements qui, à partir de l'évènement initiateur, conduit à un changement d'état de la cible. L'analyse des risques consiste donc à :

- Identifier les flux de danger potentiels. Pour cela l'ensemble des sources de danger présentes au sein du système analysé sont identifiées.
- Identifier les processus de danger c'est-à-dire l'enchaînement des évènements issus de systèmes sources de danger et pouvant conduire à des évènements non souhaités (ENS) ou accidents potentiels.
- Construire et représenter l'enchaînement des évènements conduisant à l'ENS. Ceci nécessite l'élaboration de scénarios.

Dans le modèle MADS, le flux de danger causant l'évènement non souhaité est généré à partir d'un système source de danger. Il est donc nécessaire d'identifier la source de danger qui, une fois excitée par un évènement initiateur d'origine interne ou externe crée ce flux principal de danger.

Pour effectuer, ce travail, chaque sous-système identifié dans l'étape 1 du module A de MOSAR, doit être analysé à travers une grille bien définie de typologie des systèmes sources de dangers proposé par (Périlhon, 2007). Cela permet d'inventorier systématiquement les entités qui pourront devenir sources de flux de danger. Ainsi pour chaque sous-système identifié, il est possible d'obtenir une liste de systèmes sources de danger de type mécanique, chimique, biologique, humaine…qui peut guider la recherche des flux de danger. Ces systèmes sources pouvant être générés par le contenant (son enveloppe) ou par son contenu (ce qu'il contient).

Ensuite, la recherche des processus consiste à déterminer l'enchaînement d'évènements issus de systèmes sources et pouvant conduire à des évènements non souhaités. Ce sont les scénarios d'accidents.

2.3.1.2 Le tableau A

MOSAR préconise l'utilisation d'un outil nommé tableau A (tableau 15) reprenant les principaux éléments du modèle MADS et permettant de composer les scénarios courts d'accidents.

Tableau 15 : Canevas du tableau A reprenant le processus de danger MADS (Périlhon, 2007).

Type de systèmes sources de dangers	Phases de vie	Evènements initiateurs		Evènements initiaux (ENS source)		Evènements principaux liés au flux	ENS cibles
		Externes	Internes	Contenant	Contenu		

Ce travail s'effectue ligne par ligne en commençant par la recherche des évènements initiaux, suivie par la recherche des évènements initiateurs qui peuvent engendrer les évènements initiaux. Ces évènements peuvent être internes ou externes à la source de danger. La chaine d'évènements initiateurs et évènements initiaux implique les flux de danger puis les évènements non souhaités (cibles) notés dans la dernière colonne du tableau. **Ce travail amène à la génération de scénarios courts mais qui peuvent parfois être mis bout à bout, quand un évènement initial ou final est l'évènement initiateur ou initial d'un autre scénario consigné sur une autre ligne**.

Il est possible de faire ce travail dans une phase de vie donnée du sous-système ou dans toutes ses phases de vie (tels que : exploitation, maintenance, conception, montage, arrêt…).

Dans ce tableau les barrières de sécurité notamment pour une installation en fonctionnement ne sont pas prises en compte. Cela permettra ensuite de juger de la pertinence des barrières déjà placées.

2.3.1.3 La technique des boîtes noires

Suite au développement du tableau A, il est possible de représenter chaque sous-système sous forme de boîtes noires dont les entrées sont les évènements initiateurs et les sorties les ENS cibles générés par les sous-systèmes (figure 32). L'idée est d'identifier ce qui entre dans le sous-système et ce qui en sort en s'affranchissant de son fonctionnement.

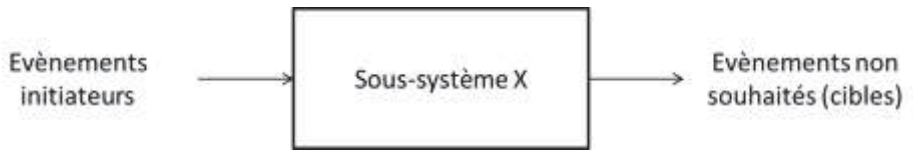


Figure 32 : Représentation du sous-système X sous forme de boîte noire (Périlhon, 2007).

Le travail consiste ensuite à combiner les évènements d'entrée et de sortie entre eux afin de représenter les interactions entre les différents sous-systèmes. La figure 33 schématise cette représentation de genèse des scénarios qui permet d'identifier:

- les scénarios courts qui sont tous les scénarios linéaires entre entrées et sorties d'une même boîte noire,
- les scénarios longs qui sont :
    - les scénarios obtenus à partir d'évènements issus de combinaisons en entrée et en sortie de la boîte noire,
    - les scénarios de rétroaction entre les entrées et les sorties de la boîte noire,
    - les bouclages entre sorties et entrées de même nature de boîtes différentes.

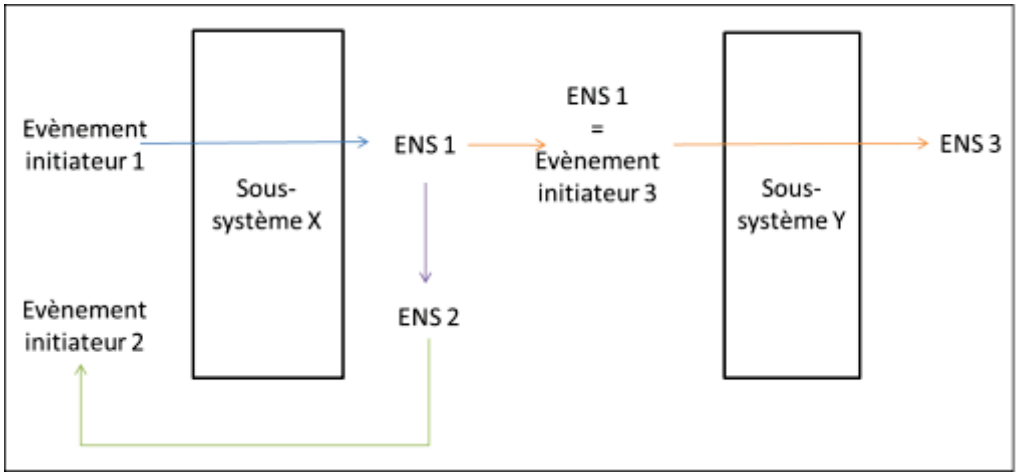


Figure 33 : Principe de genèse de scénarios en utilisant des boîtes noires (Périlhon, 2007).

Après cette construction, il est possible de rassembler sur un même accident redouté tous les enchaînements y aboutissant. Pour éviter l'explosion combinatoire de scénarios construits, il est possible de ne garder que les évènements majeurs qui apparaissent en sortie des boîtes noires.

Dans les systèmes industriels, ce sont généralement les scénarios pour un nombre limité d'ENS majeurs qui sont recherchés: explosion sur le site, libération de gaz inflammables ou toxiques, incendie sur le site, libération de produits toxiques.

Cependant, dans notre cas, cette difficulté ne s'applique pas, puisque d'une part l'attention de l'étude porte sur une cause bien spécifique de défaillance qui est l'inondation et d'autre part uniquement sur les ENS majeurs responsables d'accidents technologiques majeurs (cités ci-dessus).

A ce niveau de l'analyse, il est également possible de construire des scénarios en recherchant leur impact sur une cible bien spécifique, ce qui permet également de faciliter et d'organiser le travail. Ceci peut être effectué en utilisant les différents outils d'arbres logiques.

2.3.1.4 Phases de la mise en œuvre de MOSAR

Pour rappel, MOSAR permet d'identifier, évaluer puis hiérarchiser les risques présents dans une installation en proposant un choix organisé d'outils pour atteindre ces objectifs. Cependant, MOSAR « n'explicite pas vraiment le contenu concret de chaque étape » (Gardes, 2001), ce qui peut rendre son application difficile par des non spécialistes du risque.

Les trois phases de MOSAR qui ont été suivies pour la construction des scénarios Natech inondation sont (figure 18 page 82):

- Phase 1 : Analyse MADS, comprenant :
  - Passage de chaque sous-système identifié au crible de notre propre typologie de systèmes sources de danger ;
  - Remplissage du tableau A : en se basant sur une analyse de risque a priori et a posteriori.
- Phase 2 : Identification des scénarios en utilisant la technique des boîtes noires.
- Phase 3 : Construction des scénarios longs en se basant sur les interactions entre les boîtes noires et en utilisant l'outil du nœud papillon.

2.3.2 Phase 1 : Analyse MADS

Le but de l'analyse MADS est de comprendre comment les sous-systèmes du **système principal « installation industrielle », préalablement identifiés, vont se transformer en sources potentielles d'accidents Natech inondation.** Il s'agit là d'une explicitation des différents mécanismes d'un accident Natech inondation.

2.3.2.1 Application

Notre travail se base sur **une réflexion approfondie sur les défaillances potentielles** déclenchées suite à l'inondation de l'installation industrielle (*analyse a priori*) et **la formalisation de l'étude REX** portant sur les Natech inondation (*analyse a posteriori*) (partie 1 de la méthodologie).

Dans une tentative d'application de MOSAR au secteur de traitement de surface, (Gardes, 2001) a relevé certains points faibles qui ont été pris en compte dans ce travail de recherche. Un de ces points est le fait que la grille de systèmes sources de danger proposée par MOSAR n'est pas nécessairement en adéquation avec le domaine d'activité étudié. (Gardes, 2001) va plus loin dans son analyse jusqu'à proposer d'entreprendre une pré-analyse dans un domaine d'activité bien spécifique avant de mettre en œuvre une grille de systèmes sources de danger afin de construire une grille adaptée au secteur. Ainsi en se basant sur cette conclusion, il a été décidé **d'établir notre propre typologie de systèmes sources de danger applicables aux installations industrielles (de tout secteur) dans le cas spécifique des accidents Natech inondation** (annexe 4). Cette typologie a été construite avant de commencer l'analyse MADS et a été enrichie au fur et à mesure de cette analyse pour s'assurer qu'elle s'adapte bien à notre problématique. Egalement, il est intéressant de noter que la typologie proposée inclue l'ensemble des systèmes sources de danger de MOSAR applicables au cas de cette problématique de recherche, et présente tout de même plus de précisions.

Ainsi, en adoptant la méthodologie MADS/MOSAR, chaque sous-système du système principal « installation industrielle » a été analysé en essayant de comprendre comment il peut être, suite à une inondation, système source d'ondes de choc (ch), système source d'onde de pression (Pr), système source d'ondes thermiques (th), système source de pollutions (P), système source de danger d'origine électrique (el) et système source de danger d'origine énergétique et de régulation (En) (en se basant sur la **typologie de systèmes sources de danger en milieu industriel- dans le cas des accidents Natech inondation** que nous avons développée (annexe 4)).

Par exemple, pour un réservoir de stockage, la question suivante a été systématiquement posée: en quoi le réservoir de stockage peut être une source d'ondes de choc, d'ondes de pression, d'ondes thermiques…**suite à un contact direct avec les eaux d'inondation** (interaction avec le sous-système SS5 « environnement ») **ou indirectement suite à l'inondation du site** (interaction avec les autres sous-systèmes du sous-système principal « installation industrielle » SS1, SS2, SS3, SS4) ? Donc, les impacts directs des eaux d'inondation sur l'équipement en question ainsi que les impacts des eaux

d'inondation sur d'autres équipements industriels et pouvant porter atteinte à l'équipement en question ont été considérés.

Les résultats de cette analyse systémique sont présentés dans le format du tableau A de la méthode MOSAR contenant les différents éléments du processus de danger MADS. Ci-après, un exemple du tableau A correspondant à l'équipement critique « Réservoir de stockage » en tant que système source de danger est présenté (tableau 16).

Ainsi, il a été possible d'**identifier les différents évènements critiques qui ne sont autres que les dommages structuraux des équipements industriels induits par l'inondation pouvant être responsables de rejets de substances dangereuses** (tableau 17).

Tableau 17: Evènements critiques associés aux équipements critiques considérés dans le cadre l'étude.

Evènements critiques	Equipements critiques concernés	Description de l'évènement critique
Brèche du contenant	Réservoir de stockage atmosphérique, Réacteur atmosphérique	Brèche du contenant de l'équipement conduisant à une fuite continue. La brèche peut avoir des dimensions différentes en fonction des causes conduisant à la brèche.
Renversement de l'équipement	Réservoir de stockage atmosphérique, Réacteur atmosphérique	Déversement de l'ensemble de la substance contenue dans un équipement, ce qui conduit au rejet total et instantané de la substance liquide.
Rupture de canalisations	Canalisations aériennes	Brèche au niveau de la canalisation conduisant à une fuite continue. La brèche peut avoir des dimensions différentes en fonction des causes conduisant à la brèche.
Défaillance de système de contrôle	Réservoir de stockage atmosphérique, Réacteur atmosphérique	Rejet de substances dangereuses suite à la défaillance des systèmes de contrôle du niveau
Noyage de l'équipement	Réservoir de stockage atmosphérique ouvert, Réacteur atmosphérique ouvert	Noyage de l'équipement : l'entrée des eaux d'inondation dans l'équipement critiques emportant des substances dangereuses lors de leur sortie

Ainsi, cinq évènements critiques ont été identifiés :

- **La brèche du contenant** : Il s'agit de la rupture de la paroi des équipements critiques réacteur industriel (fermé ou ouvert) et réservoir de stockage/réservoir de stockage intermédiaire de produits chimiques.
- **Le renversement de l'équipement** : Il s'agit du renversement instantané de l'ensemble du contenu d'un réacteur ou d'un réservoir de stockage/réservoir de stockage intermédiaire de produits chimiques.
- **La rupture de canalisations** : Il s'agit d'une rupture totale ou partielle d'une canalisation, ce qui peut provoquer des rejets de substances dangereuses.
- **Défaillance du système de contrôle de niveau** : Il s'agit de renversement de substances dangereuses dans les eaux d'inondation à la suite du débordement de l'équipement.
- **Le noyage de l'équipement** : Il s'agit de la rentrée des eaux d'inondation dans l'équipement industriel ouvert emportant des substances dangereuses dans les eaux d'inondation.

Tableau 16 : Extrait du tableau A correspondant à la source de danger « Réservoir de stockage » du SS1 « Equipements critiques ».

Système source de danger	Evènements initiateurs		Evènements initiaux (ENS sources)		Evènements principaux (flux)	ENS (cibles)
	Externes	Internes	Liés au contenant	Liés au contenu		
Système source d'ondes de choc (ch)						
ch-Equipement critique (Réservoirs de stockage)	choc: flux hydraulique des eaux d'inondation		Renversement de l'équipement		emportement de l'équipement	choc (équipement critique)
	choc: flux hydraulique des eaux d'inondation		flottaison de l'équipement		emportement de l'équipement	choc (équipement critique)
	choc: débris externes dans les eaux d'inondations		Renversement de l'équipement		emportement de l'équipement	choc (équipement critique)
		choc: éléments de l'atelier/Missiles (Equipements critiques, Equipements non critiques, Equipements électriques, structures du bâtiment)	Renversement de l'équipement		emportement de l'équipement	choc (équipement critique)
		choc: onde de pression	Projection de l'équipement		déplacement brutal de l'équipement	choc: missiles (équipement critique)
Système source d'ondes de pression (Pr)						
Pr-Equipement critique (Réservoirs de stockage)		Absence de réglage de température		Augmentation de la température interne/réaction d'emballement	explosion	onde de pression

		Augmentation de la température		Augmentation de la température interne/réaction d'emballement	explosion	onde de pression
		Absence de réglage de température		Augmentation de la température interne/réaction chimique secondaire	explosion	onde de pression
		Absence de réglage de température		Diminution de la température interne/réaction chimique secondaire	explosion	onde de pression
		Augmentation de la température		Augmentation de la température interne/réaction chimique secondaire	explosion	onde de pression
		Diminution de la température		Diminution de la température interne/réaction chimique secondaire	explosion	onde de pression
Pr-Produits chimiques renversés des équipements de stockage	Eaux d'inondation			Mélange entre eau et produits incompatibles renversés	explosion	onde de pression
Pr-Produits chimiques inflammables renversés par les équipements de stockage		onde thermique		combustion des produits inflammables	explosion	onde de pression
Pr-Produits chimiques inflammables contenus dans les équipements de stockage		onde thermique		combustion des produits inflammables	explosion	onde de pression

Pr-Produits chimiques réagissant avec les ondes de chaleur renversés des équipements de stockage		onde thermique		réaction entre produits et onde de chaleur	explosion	onde de pression
Pr-Produits chimiques réagissant avec les ondes de chaleur contenus dans les équipements de stockage		onde thermique		réaction entre produits et onde de chaleur	explosion	onde de pression

Système source d'ondes thermiques (th)

th-Equipement critique (réservoirs de stockage)		Absence de réglage de température		Augmentation de la température interne/réaction chimique secondaire	dégagement de chaleur	onde thermique (réaction secondaire)
		Absence de réglage de température		Diminution de la température interne/réaction chimique secondaire	dégagement de chaleur	onde thermique (réaction secondaire)
		Augmentation de la température		Augmentation de la température interne/réaction chimique secondaire	dégagement de chaleur	onde thermique (réaction secondaire)
		Diminution de la température		Diminution de la température interne/réaction chimique secondaire	dégagement de chaleur	onde thermique (réaction secondaire)
th- Produits chimiques renversés par les équipements de stockage	Eaux d'inondation			Mélange entre eau et produits incompatibles renversés	incendie	onde thermique (effet domino: incendie)

th- Produits chimiques inflammables renversés par les équipements de stockage		onde thermique		combustion des produits inflammables	incendie	onde thermique (effet domino: incendie)
th- Produits chimiques inflammables contenus dans les équipements de stockage		onde thermique		combustion des produits inflammables	incendie	onde thermique (effet domino: incendie)
th- Equipement critique (réservoirs de stockage)		choc: onde de pression	Projection de l'équipement		déplacement brutal de l'équipement	Onde thermique (Missile chauffée)
th- Equipement critique (réservoirs de stockage)		onde thermique (incendie)	Réchauffement de la paroi externe de l'équipement		Augmentation de la température externe	onde thermique (surface surchauffée)

Système source de pollutions (P)

P-Equipement critique (réservoirs de stockage)	choc: flux hydraulique des eaux d'inondation		Brèche du contenant		fuite de produits chimiques	diffusion des produits chimiques dans les eaux
	choc: débris externes dans les eaux d'inondations		Brèche du contenant		fuite de produits chimiques	diffusion des produits chimiques dans les eaux
	choc: flux hydraulique des eaux d'inondation		Affouillement du sol suite à l'inondation		Atteinte aux fondations de l'équipement/renversement de l'équipement	diffusion des produits chimiques dans les eaux
	choc: flux hydraulique des eaux d'inondation		Affouillement du sol suite à l'inondation		Atteinte aux fondations de l'équipement/déformation de l'équipement	diffusion des produits chimiques dans les eaux
		choc: éléments de l'atelier	Brèche du contenant		fuite de produits chimiques	diffusion des produits chimiques dans les eaux

		choc: onde de pression	Brèche du contenant		fuite de produits chimiques	diffusion des produits chimiques dans les eaux
		onde thermique	Augmentation de la température et déformation des parois de l'équipement		fuite de produits chimiques	diffusion des produits chimiques dans les eaux
		onde thermique		Dilatation du contenu de l'équipement	stress mécanique au niveau de la paroi/brèche du contenant	diffusion des produits chimiques dans les eaux
		coupure électrique	valve bloquée ouverte		fuite de produits chimiques	diffusion des produits chimiques dans les eaux
P- Diffusion des produits chimiques dans les eaux	Eaux d'inondation			Mélange entre eau et produits incompatibles renversés	formation de gaz toxiques	diffusion de gaz toxiques
P- Diffusion des produits chimiques inflammables dans les eaux		onde thermique		combustion des produits inflammables	formation de gaz toxiques	diffusion de gaz toxiques
P- Diffusion des produits chimiques inflammables dans les eaux		onde thermique		combustion des produits inflammables	formation de gaz toxiques	diffusion de gaz toxiques
P- Diffusion des produits chimiques réagissant avec les ondes de chaleur dans les eaux		onde thermique		réaction entre produits et onde de chaleur	formation de gaz toxiques	diffusion de gaz toxiques
P- Diffusion des produits chimiques réagissant avec les ondes de chaleur		onde thermique		réaction entre produits et onde de chaleur	formation de gaz toxiques	diffusion de gaz toxiques

Bien que les deux derniers évènements ne représentent pas de dommages structuraux aux équipements critiques, nous les avons considérés dans le cadre de ce travail de recherche comme des évènements critiques vu que leur occurrence peut provoquer des rejets de substances dangereuses au niveau de l'équipement critique.

L'analyse MADS a permis en quelque sorte de valider des conclusions faites dans l'étape 1 de l'étude REX sur les accidents Natech inondation. Ainsi, pour les équipements critiques, ce sont bien évidemment leurs dommages qui sont les principaux responsables de rejets de substances dangereuses. Ces rejets de substances peuvent provoquer des accidents technologiques : incendie, explosion, diffusion des produits chimiques par les eaux d'inondation et diffusion de gaz toxiques.

2.3.2.2 Difficultés/limites

Les dimensions différentes des évènements critiques qui peuvent être provoqués par des intensités différentes de l'aléa et qui peuvent être responsables d'intensités de rejets différentes (identifiés dans l'étude REX) ne sont pas prises en compte dans le cadre du travail de recherche pour des raisons d'insuffisance de données quantitatives pour l'élaboration d'un tel travail.

La grande difficulté liée à cette partie est le manque d'informations portant sur les accidents Natech inondation et plus particulièrement sur les causes des évènements critiques. En effet, l'accidentologie s'intéresse essentiellement aux conséquences des accidents et très peu à l'enchaînement des événements aboutissant à ces accidents. Pour pallier à ce manque, des **analyses de risque technologique (dont les causes sont des défaillances techniques internes) ont été examinées, tels que les** arbres de défaillances développés dans le cadre du projet ARAMIS (basé sur des études REX d'accidents technologiques classiques) (MEDDE-Direction des risques accidentels, 2004). Ainsi, il a été possible de déterminer les défaillances techniques pouvant être provoquées par les eaux d'inondation et elles ont servi à l'enrichissement de l'analyse MADS.

Cette étape constitue le fondement de l'analyse des risques. Elle a permis, sans devoir rentrer trop profondément dans le fonctionnement de l'installation d'avoir une vision relativement exhaustive du risque Natech inondation et de construire des scénarios courts.

Un autre avantage principal du tableau A, est d'organiser, de formaliser et d'exploiter les résultats de l'étude REX.

Ainsi, suite à l'analyse MADS il a été possible d'identifier:

- en quoi chaque élément des sous-systèmes peut être source ou cible de danger d'accidents majeurs suite à l'inondation du site industriel, et donc toutes les sources et cibles de danger d'une installation industrielle ;
- les processus de danger que peuvent générer les systèmes sources par rapport aux systèmes cibles qu'ils peuvent atteindre. Il s'agit des scénarios courts d'accidents ;
- l'identification des évènements critiques correspondants aux différents équipements critiques pris en compte dans cette étude.

2.3.3 Phase 2 : Identification des scénarios

Cette phase a pour objet d'identifier les scénarios d'accidents Natech inondation en élaborant les interactions entre les différents sous-systèmes de l'industrie et l'environnement. Dans MOSAR, la recherche des interactions entre les différents processus de danger (identifiés dans l'analyse MADS) est réalisée par la technique des boîtes noires.

Ainsi, chaque sous-système du système principal identifié va constituer une boîte noire. Pour chaque boîte noire, il a été identifié :

- les scénarios courts : Il s'agit des scénarios linéaires entre entrées et sorties,
- certains scénarios longs :
    - les scénarios obtenus à partir d'évènements issus de combinaisons d'évènements en entrée et en sortie de la boîte noire ;
    - les scénarios de rétroaction entre les entrées et les sorties de la boîte noire.

La figure 34 présente un exemple de boîte noire correspondant au sous-système « équipement critique ».

Ensuite, en reliant les différents sous-systèmes, d'autres scénarios longs sont générés: certaines sorties (ENS cibles) de boîtes noires qui sont identiques à des entrées (évènements initiateurs) d'autres boîtes noires sont reliées afin de faire apparaitre les interactions entre les différents sous-systèmes.

La figure 35 montre les interactions entre les différentes boîtes noires constituant les sous-systèmes du système principal « installation industrielle » ainsi que la boîte noire du sous-système « environnement ».

Comme il a été précisé antérieurement, les accidents Natech sont imputables à un rejet de matières dangereuses sur des équipements dit critiques (canalisation, réservoir de stockage, réacteur) contenant les dites substances dangereuses. Ces rejets surviennent suite à des dommages (ou événements critiques) sur ces équipements. L'analyse MADS a permis d'identifier cinq grands types d'événements critiques :

- La brèche du contenant,
- Le renversement de l'équipement,
- La rupture de canalisations,
- La défaillance du système de contrôle de niveau,
- Le noyage de l'équipement critique.

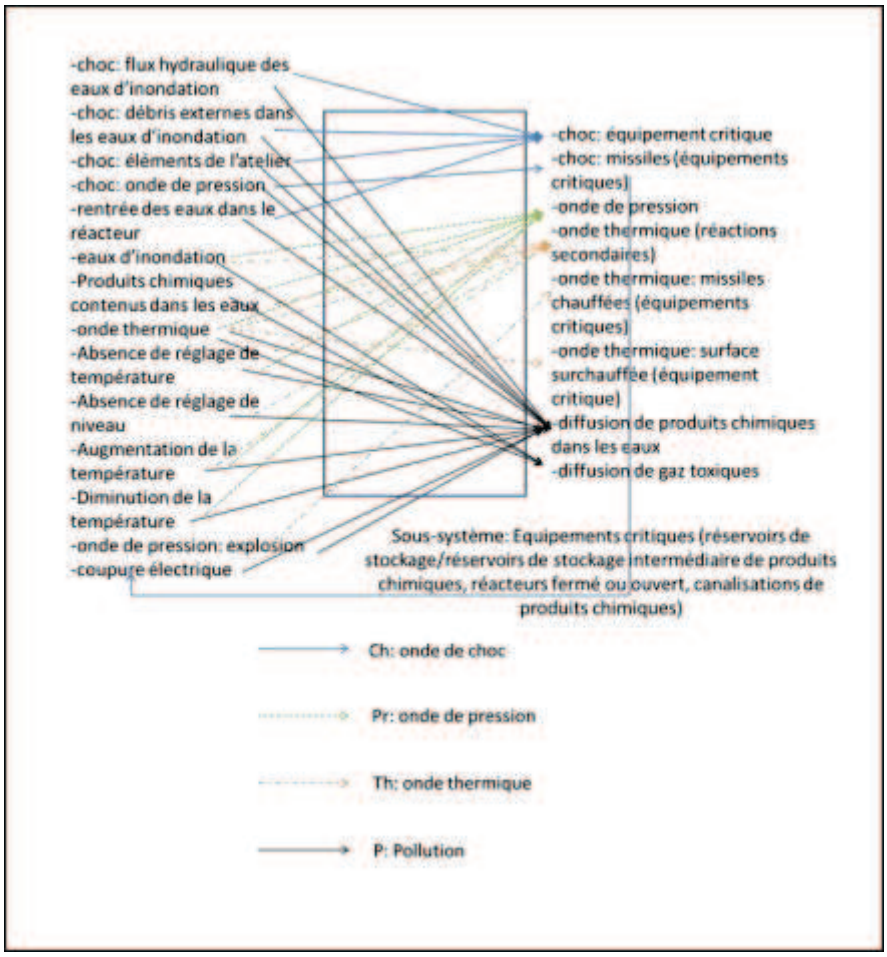

-choc: flux hydraulique des eaux d'inondation
-choc: débris externes dans les eaux d'inondation
-choc: éléments de l'atelier
-choc: onde de pression
-rentrée des eaux dans le réacteur
-eaux d'inondation
-Produits chimiques contenus dans les eaux
-onde thermique
-Absence de réglage de température
-Absence de réglage de niveau
-Augmentation de la température
-Diminution de la température
-onde de pression: explosion
-coupure électrique
-choc: équipement critique
-choc: missiles (équipements critiques)
-onde de pression
-onde thermique (réactions secondaires)
-onde thermique: missiles chauffées (équipements critiques)
-onde thermique: surface surchauffée (équipement critique)
-diffusion de produits chimiques dans les eaux
-diffusion de gaz toxiques
Sous-système: Equipements critiques (réservoirs de stockage/réservoirs de stockage intermédiaire de produits chimiques, réacteurs fermé ou ouvert, canalisations de produits chimiques)
Ch: onde de choc
Pr: onde de pression
Th: onde thermique
P: Pollution

Figure 34 : Boîte noire correspondant au sous-système « Equipement critique ».

Ces cinq évènements sont donc à l'origine des accidents NATECH dus à une inondation. Grâce à l'analyse de risque précédente et notamment la représentation boîte noire (figure 34 et 35), il va être possible de construire les cinq scénarios concourant à la réalisation de ces cinq événements critiques. Ces scénarios sont représentés sous forme d'arbre de défaillances.

Egalement, il est possible d'élaborer un scénario montrant les conséquences (ou impacts) sur l'environnement de la survenue de ces cinq événements critiques. Ce scénario prendra la forme d'un arbre d'évènements.

Ainsi, **les diagrammes causes-conséquences (ou les nœuds papillons) ont été utilisés pour la représentation des scénarios longs d'accidents majeurs déclenchés par l'inondation d'une installation industrielle.**

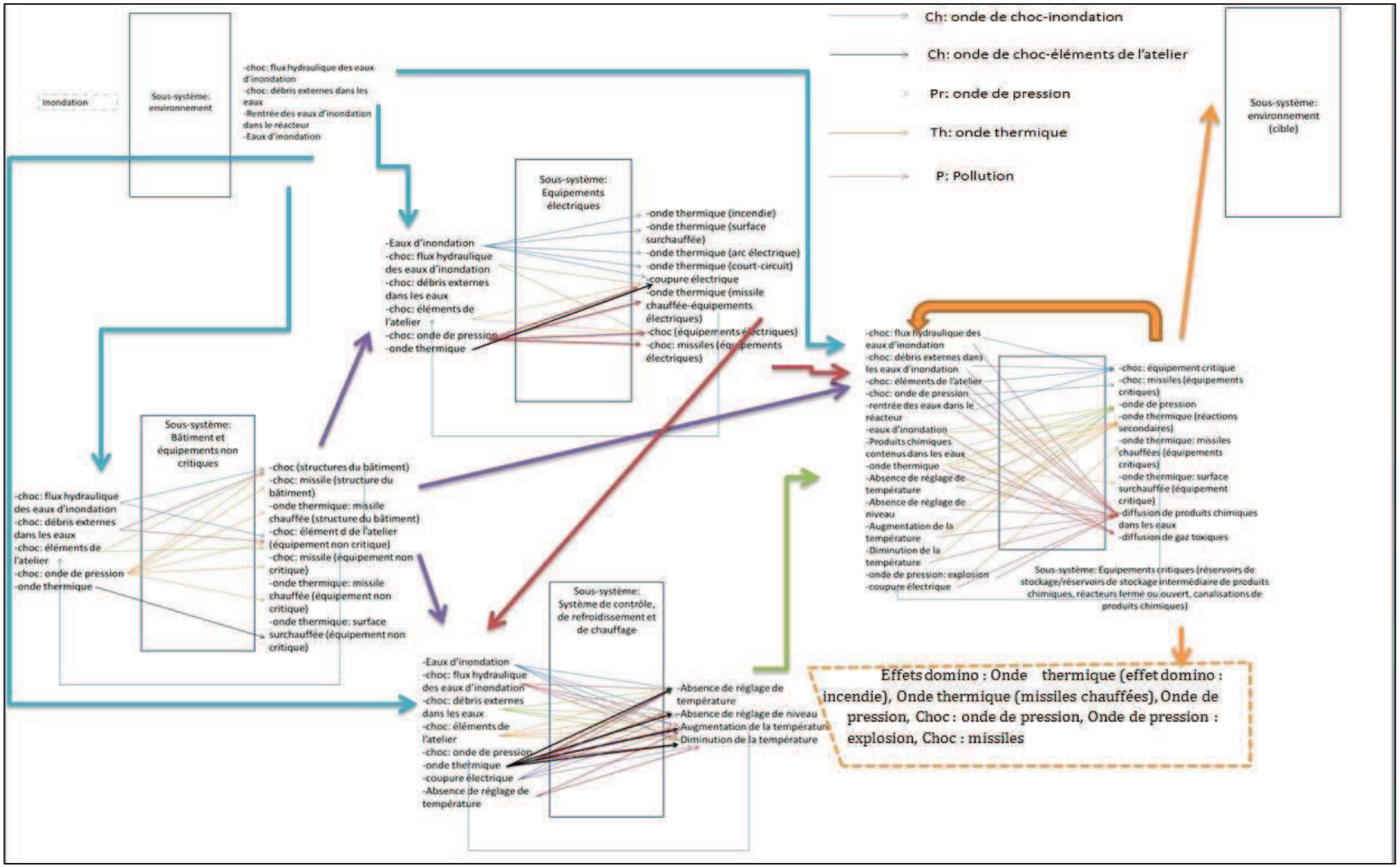

Ch: onde de choc-inondation
Ch: onde de choc-éléments de l'atelier
Pr: onde de pression
Th: onde thermique
P: Pollution
Inondation
Sous-système: environnement
-choc: flux hydraulique des eaux d'inondation
-choc: débris externes dans les eaux
-Rentrée des eaux d'inondation dans le réacteur
-Eaux d'inondation
Sous-système: Equipements électriques
-Eaux d'inondation
-choc: flux hydraulique des eaux d'inondation
-choc: débris externes dans les eaux
-choc: éléments de l'atelier
-choc: onde de pression
-onde thermique
-onde thermique (incendie)
-onde thermique (surface surchauffée)
-onde thermique (arc électrique)
-onde thermique (court-circuit)
-coupure électrique
-onde thermique (missile chauffée-équipements électriques)
-choc (équipements électriques)
-choc: missiles (équipements électriques)
Sous-système: Bâtiment et équipements non critiques
-choc: flux hydraulique des eaux d'inondation
-choc: débris externes dans les eaux
-choc: éléments de l'atelier
-choc: onde de pression
-onde thermique
-choc (structures du bâtiment)
-choc: missile (structure du bâtiment)
-onde thermique: missile chauffée (structure du bâtiment)
-choc: élément d de l'atelier (équipement non critique)
-choc: missile (équipement non critique)
-onde thermique: missile chauffée (équipement non critique)
-onde thermique: surface surchauffée (équipement non critique)
Sous-système: Système de contrôle, de refroidissement et de chauffage
-Eaux d'inondation
-choc: flux hydraulique des eaux d'inondation
-choc: débris externes dans les eaux
-choc: éléments de l'atelier
-choc: onde de pression
-onde thermique
-coupure électrique
-Absence de réglage de température
-Absence de réglage de température
-Absence de réglage de niveau
-Augmentation de la température
-Diminution de la température
-choc: flux hydraulique des eaux d'inondation
-choc: débris externes dans les eaux d'inondation
-choc: éléments de l'atelier
-choc: onde de pression
-rentrée des eaux dans le réacteur
-eaux d'inondation
-Produits chimiques contenus dans les eaux
-onde thermique
-Absence de réglage de température
-Absence de réglage de niveau
-Augmentation de la température
-Diminution de la température
-onde de pression: explosion
-coupure électrique
-choc: équipement critique
-choc: missiles (équipements critiques)
-onde de pression
-onde thermique (réactions secondaires)
-onde thermique: missiles chauffées (équipements critiques)
-onde thermique: surface surchauffée (équipement critique)
-diffusion de produits chimiques dans les eaux
-diffusion de gaz toxiques
Sous-système: Equipements critiques (réservoirs de stockage/réservoirs de stockage intermédiaire de produits chimiques, réacteurs fermé ou ouvert, canalisations de produits chimiques)
Sous-système: environnement (cible)
Effets domino : Onde thermique (effet domino : incendie), Onde thermique (missiles chauffées), Onde de pression, Choc : onde de pression, Onde de pression : explosion, Choc : missiles

Figure 35 : Interaction entre les boîtes noires correspondantes aux différents sous-systèmes.

2.3.4 Phase 3 : Construction des scénarios

2.3.4.1 Outil de sûreté de fonctionnement : Le nœud papillon

La méthode du nœud papillon a pour principe de réunir un arbre de défaillances et un arbre d'évènement, centrés sur un même évènement redouté (IDDIR, consulté le 15 Mai 2011) (figure 36 et tableau 18).

La partie en amont de l'évènement redouté est constituée par **l'arbre de défaillances.** L'arbre de défaillance est une méthode qui part d'un événement final pour remonter vers les causes et conditions dont les combinaisons peuvent le produire. Il vise à représenter l'ensemble des combinaisons qui peuvent induire l'événement étudié (analyse des combinaisons de causes) (Mortureux, Consulté le 20 Juin 2011). Il offre également la possibilité d'identifier les mesures de prévention permettant d'arrêter le déroulement des séquences accidentelles aboutissant à la réalisation de l'évènement redouté.

La partie aval est constituée par **un arbre d'évènements.** Ce dernier part d'un événement et décrit les différentes conséquences qu'il peut avoir en fonction des conditions dans lesquelles il s'est produit et des événements avec lesquels il se combine. Il repose sur un raisonnement inverse de l'arbre de défaillances: de la cause vers les conséquences (les conséquences de l'évènement redouté) (Mortureux, Consulté le 20 Juin 2011). Il permet également d'identifier les mesures de protection pour les éviter.

Le point central du nœud est constitué par l'évènement redouté central (figure 36).

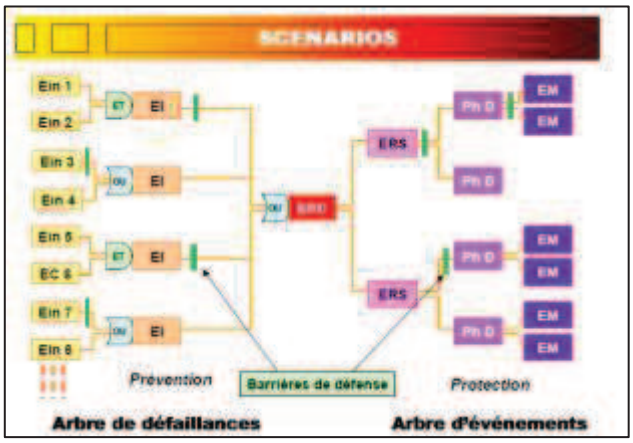


Figure 36 : Représentation d'un scénario d'accident par le modèle « Nœud papillon » (MEDDE-Direction des risques accidentels, 2004).

Les principales étapes de l'élaboration du nœud papillon sont (Gardes, 2001):

- La sélection de l'évènement redouté central parfois nommé évènement critique: qui dépend de l'objectif de l'étude. Il est lié à des défaillances de composants de l'installation industrielle et est susceptible d'engendrer des conséquences redoutés que l'on cherche à préciser.
- La recherche des causes de cet évènement redouté central par la méthode de l'arbre des causes.
- La recherche des conséquences de l'évènement critique par la méthode de l'arbre des conséquences.

Tableau 18 : Définitions associées à chacun des évènements figurant sur le modèle du nœud papillon de la figure 36 (MEDDE-Direction des risques accidentels, 2004).

Désignation	Signification	Définition
EIn	Evènement Indésirable	Dérive ou défaillance sortant du cadre des conditions d'exploitation usuelles définies.
EC	Evènement Courant	Evènement admis survenant de façon récurrente dans la vie d'une installation.
EI	Evènement Initiateur	Cause directe d'une perte de confinement ou d'intégrité physique.
ERC ou EC	Evènement Redouté Central (Le terme Evènement critique est Egalement employé)	Perte de confinement sur un équipement dangereux ou perte d'intégrité physique d'une substance dangereuse
ERS	Evènement Redouté Secondaire	Conséquence directe de l'événement redouté central, l'événement redouté secondaire caractérise le terme source de l'accident
Ph D	Phénomène Dangereux	Phénomène physique pouvant engendrer des dommages majeurs
EM	Effets Majeurs	Dommages occasionnés au niveau des cibles (personnes, environnement ou biens) par les effets d'un phénomène dangereux
Barrières ou Mesures de Prévention		Barrières ou mesures visant à prévenir la perte de confinement ou d'intégrité physique
Barrières ou Mesures de Protection		Barrières ou mesures visant à limite les conséquences de la perte de confinement ou d'intégrité physique

Points forts/points faibles de l'outil par rapport à nos besoins

« Dans une démarche d'analyse de risques, un scénario d'accident est défini comme un enchaînement d'évènements de base, aboutissant à un évènement redouté, conduisant lui-même à des conséquences lourdes ou effets majeurs » (IDDIR, consulté le 15 Mai 2011). Ainsi, le nœud papillon permet de construire des scénarios d'accidents pouvant être basés à la fois sur l'analyse des accidents passés (analyse a posteriori) ou sur des réflexions (a priori) de scénarios d'accidents potentiels. Cela constitue **un avantage** par rapport à d'autres méthodes existantes. Le nœud papillon permet de visualiser l'ensemble des scénarios, conduisant de l'évènement indésirable, jusqu'à l'apparition des effets majeurs observés au niveau des cibles.

Le nœud papillon présente également **l'avantage** d'une double utilisation :

- une analyse qualitative des risques par la représentation même des scénarios d'accidents et par la possibilité de présentation symbolique de l'effet des barrières sous forme de barre verticale ;

- une analyse quantitative des risques par la possibilité d'effectuer une évaluation de la probabilité d'occurrence de l'évènement redouté et des probabilités des conséquences, ainsi que la présentation explicite de défaillance des barrières.

Le nœud papillon **permet donc d'effectuer une analyse de risque tout en intégrant la compréhension des mécanismes des accidents suite à la construction des scénarios de ces accidents.** C'est également une méthode qui offre la **possibilité d'illustrer les barrières permettant de gérer les risques**. Ainsi, c'est un outil qui facilite la communication avec les différentes parties prenantes.

Cependant, le nœud papillon est un « outils classique de la sûreté de fonctionnement » (Pierre Périlhon, n.d.) qui peut être utilisé dans le cas de gestion de risques menée au niveau d'un objet. Par contre, **dans la gestion de risques menée au niveau d'un milieu plus complexe telle qu'une installation industrielle, il ne permet qu'une analyse parcellaire et il est nécessaire de disposer de démarches complètes incluant cet outils et capable d'en organiser la mise en œuvre telle que : la méthode MOSAR.**

Aussi, la mise en œuvre de cet outil est coûteuse dans le temps, d'où l'intérêt de réserver l'analyse de risques par son intermédiaire à des évènements jugés critiques. C'est pour cela qu'il est intéressant de les présélectionner lors d'une étape préliminaire.

2.3.4.2 Arbres des défaillances : scénarios d'accidents antérieur au rejet de substances dangereuses/Causes des évènements critiques

La méthodologie propose un arbre de défaillances pour chaque évènement critique identifié, associé aux équipements critiques correspondant (tableau 14 page 94) :

- un arbre de défaillance « brèche du contenant » associé aux équipements réservoirs de stockage et réacteurs,
- un arbre de défaillance « rupture de canalisations » associé aux canalisations de produits chimiques,
- un arbre de défaillance « renversement de l'équipement » associé aux équipements réservoirs de stockage et réacteurs,
- un arbre de défaillance « défaillance du système de contrôle de niveau » associé aux réacteurs et
- un arbre de défaillance « noyage de l'équipement » associé aux équipements critiques réservoirs de stockage et réacteurs ouverts.

La figure 37 présente l'arbre de défaillances pour l'évènement critique « brèche du contenant » associé aux équipements réservoirs de stockage et réacteurs.

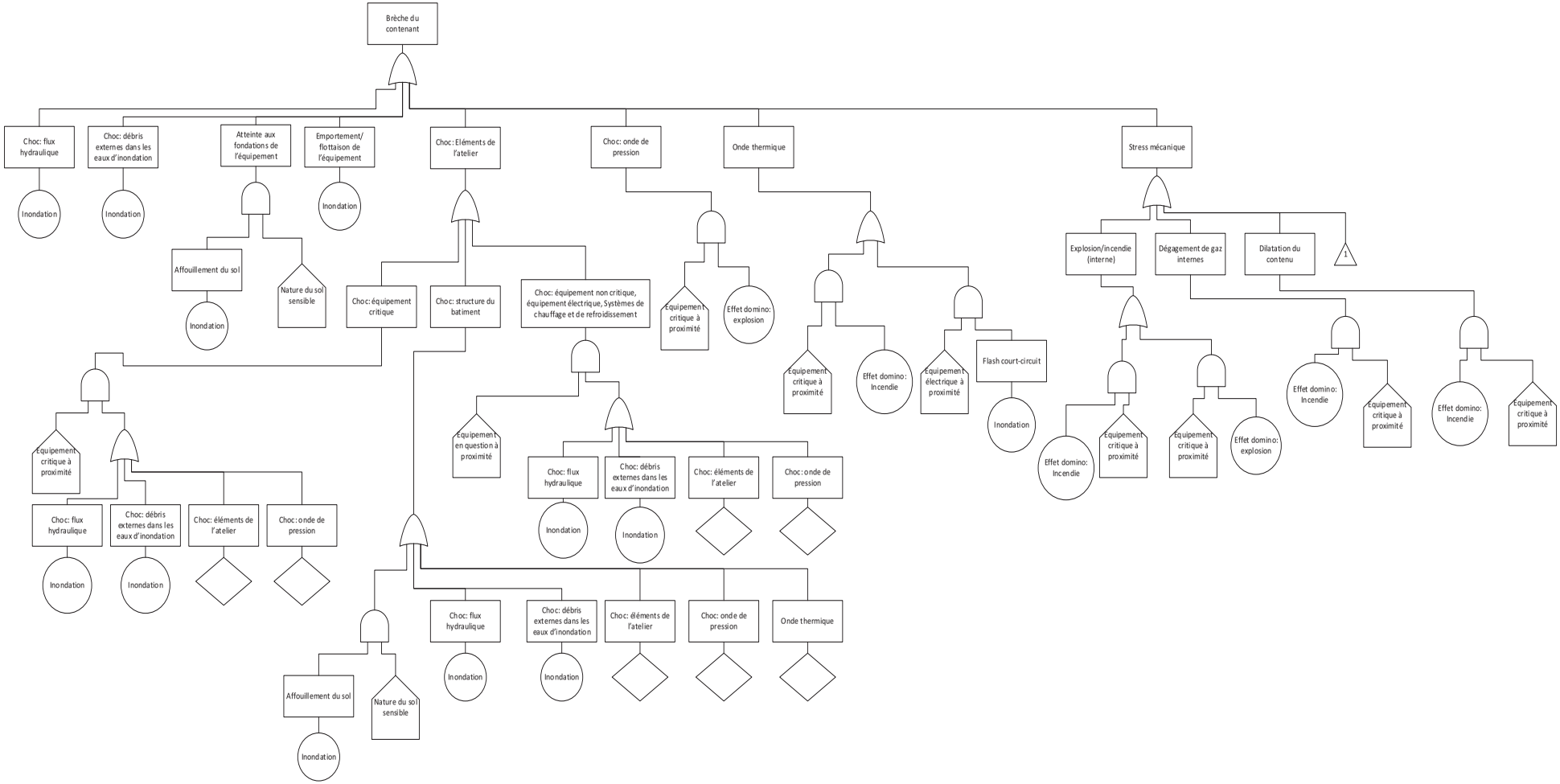


Figure 37 : Arbre de défaillances correspondant à l'évènement critique « Brèche du contenant ».

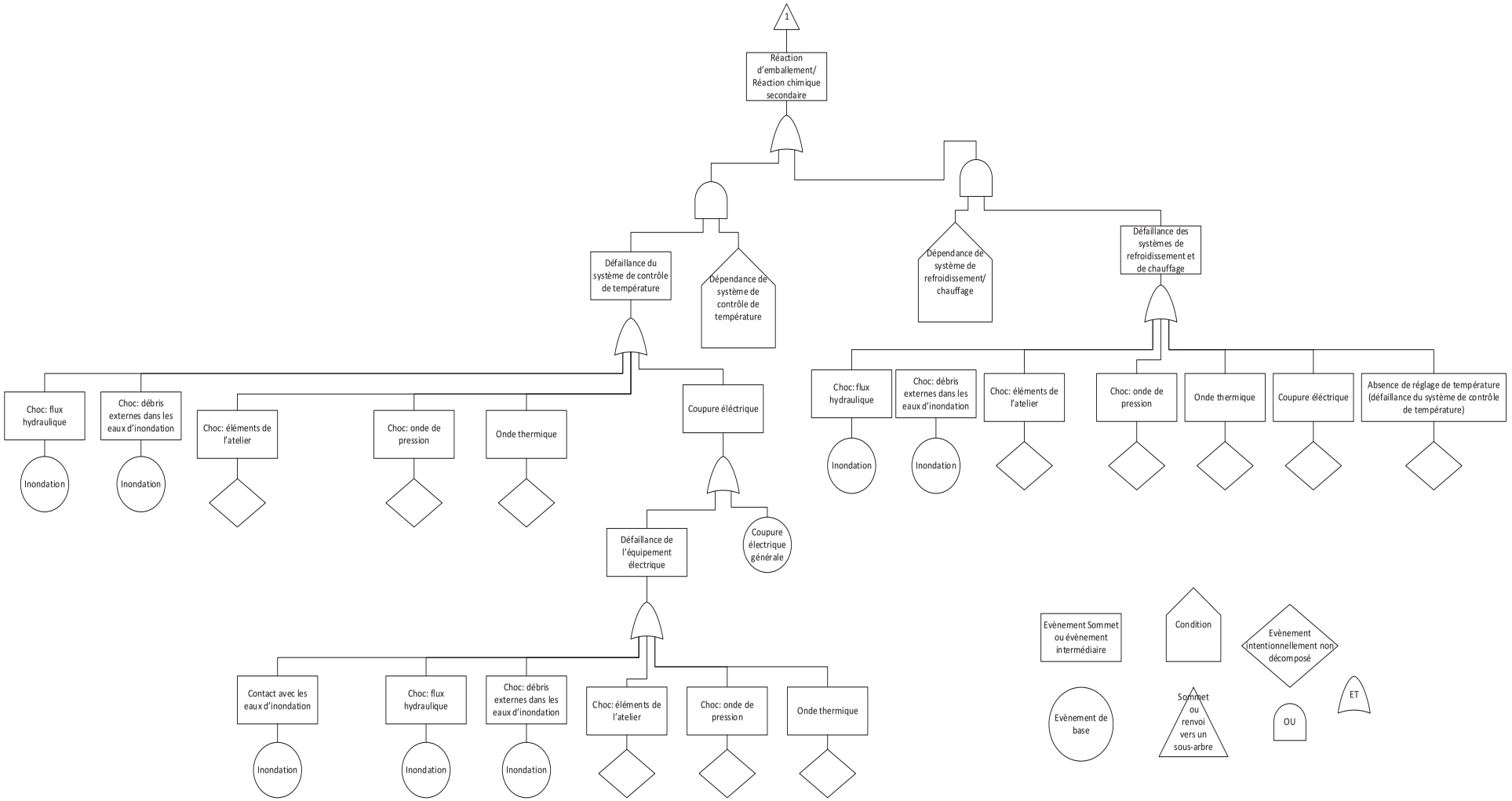

1
Réaction d'emballement/ Réaction chimique secondaire
Défaillance du système de contrôle de température
Dépendance de système de contrôle de température
Dépendance de système de refroidissement/ chauffage
Défaillance des systèmes de refroidissement et de chauffage
Choc: flux hydraulique
Choc: débris externes dans les eaux d'inondation
Choc: éléments de l'atelier
Choc: onde de pression
Onde thermique
Coupure éléctrique
Absence de réglage de température (défaillance du système de contrôle de température)
Inondation
Coupure électrique générale
Défaillance de l'équipement électrique
Contact avec les eaux d'inondation
Evènement Sommet ou évènement intermédiaire
Condition
Evènement intentionnellement non décomposé
Evènement de base
Sommet ou renvoi vers un sous-arbre
OU
ET

Figure 37 : Arbre de défaillances correspondant à l'évènement critique « Brèche du contenant » (suite).

Les arbres de défaillances élaborés considèrent les effets directs et indirects des eaux d'inondation définis dans l'étude REX, et s'appuient sur les scénarios identifiés par la méthode d'analyse MADS/MOSAR.

Comme il a été mentionné dans la partie bibliographique, les méthodes de gestion du risque Natech inondation se sont intéressées essentiellement aux conséquences des dommages ; aucune étude sur les causes n'a été trouvée. Leur identification s'est appuyée notamment sur la technique des boîtes noires qui permet de mieux expliciter les interactions entre les différents sous-systèmes. La réalisation des arbres constitue une première tentative d'analyser les causes des dommages aux équipements industriels induits par l'inondation afin de comprendre les mécanismes complets des accidents Natech inondation.

2.3.4.3 Arbres d'évènements : scénarios d'accidents postérieurs au rejet de substances dangereuses/conséquences des évènements critiques

La méthodologie propose également pour chaque évènement critique associé aux équipements critiques correspondant (tableau 17), un arbre d'évènements unique. Il **a été développé sur la base des scénarios courts apparaissant au niveau de la boîte noire correspondant au sous-système « équipements critiques ».** Cet arbre d'évènements est adapté aux différents évènements critiques qui résultent tous en un rejet de substances dangereuses.

En se basant sur l'étude REX (étape 1 de la méthodologie), il est possible de déduire que **quatre types de substances dangereuses peuvent provoquer des phénomènes dangereux durant un accident Natech inondation:** les substances inflammables, toxiques, réagissant violemment avec l'eau et réagissant avec les incendies et autres ondes de chaleur. Ainsi, l'arbre d'évènements développé est divisé en quatre branches différentes. Chaque branche correspond à un type de substances dangereuses et représente les scénarios d'accidents relatifs au rejet de ce type de substances dangereuses. Les phrases de risque associées aux différents types de substances dangereuses sont celles qui ont été définis pour le choix des équipements critiques (partie 2.2.2.1).

Il est important de noter une des limites de ce travail de recherche : Il s'agit de la non prise en compte des substances dangereuses incompatibles avec d'autres substances pouvant être simultanément rejetées suite à l'inondation. En effet, afin d'observer une réaction entre des substances incompatibles, il est nécessaire d'observer deux rejets de substances simultanés (deux LOCs) et il faut également atteindre des concentrations spécifiques de ces deux substances rejetées. Or, suite au rejet des substances dangereuses « liquides » et leur dilution dans les eaux d'inondation, nous avons émis l'hypothèse que ce scénario d'accident est très peu probable au regard des autres scénarios. Cette hypothèse de travail a été confirmée par l'analyse REX (aucun accident rapporté de ce type à notre connaissance) et les discussions menées avec nos différents interlocuteurs industriels qui ont vécu des épisodes d'inondation.

L'analyse MADS montre qu'en plus des types de substances dangereuses rejetées par les équipements critiques, les évènements postérieurs aux rejets de substances dangereuses dépendent également des conditions de LOC, tels que :

- la combustion immédiate ou retardée des substances et gaz inflammables qui dépend de la présence ou non d'onde thermique pour déclencher cette combustion,
- le confinement des équipements critiques qui peut conditionner l'apparition ou non d'explosion et,

- le contact ou non avec l'eau qui provoque des réactions violentes avec l'eau.

La cible finale des accidents majeurs, dans le cas des accidents Natech, est l'environnement (l'eau, le sol, l'air et les habitants, leurs biens et les autres entreprises situés aux alentours de l'installation industrielle). C'est pourquoi l'ensemble des scénarios d'accidents issus de l'analyse MADS possèdent comme ENS majeurs finaux des conséquences potentielles sur l'environnement et l'entourage de l'entreprise. Ces conséquences étant des ondes de chaleur, ondes de pression, diffusion de produits chimiques dangereux et diffusion de gaz toxiques. C'est ensuite en fonction d'une cible bien précise qu'il est possible d'identifier les conséquences des ENS (cibles) sur la cible considérée.

Enfin, il ne faut pas oublier le fait que les évènements en cascades sont typiques des évènements Natech inondation vu que l'aléa naturel augmente la probabilité de défaillances multiples (chapitre 1, paragraphe 1.4.2.3). D'où l'importance de leur prise en compte dans les scénarios. Il s'agit du cas par exemple du rejet de substances dangereuses inflammables. La première défaillance est le dommage structurel à l'équipement critique contenant la substance dangereuse, ce qui va provoquer le rejet de la substance dangereuse inflammable et sa diffusion dans les eaux d'inondation. Si cette défaillance est combinée avec une défaillance simultanée d'un équipement électrique par exemple, qui va provoquer une onde thermique (source de combustion), un incendie peut être déclenché suite au contact de la substance inflammable avec l'équipement électrique court-circuité.

La figure 38 présente la synthèse de l'élaboration de l'arbre d'évènements. La construction des scénarios s'est basée essentiellement sur l'analyse MADS, l'analyse REX ainsi que l'analyse de certains accidents technologiques classiques (dont les causes sont des défaillances techniques internes) notamment les arbres de conséquences bâtis dans le cadre du projet ARAMIS.

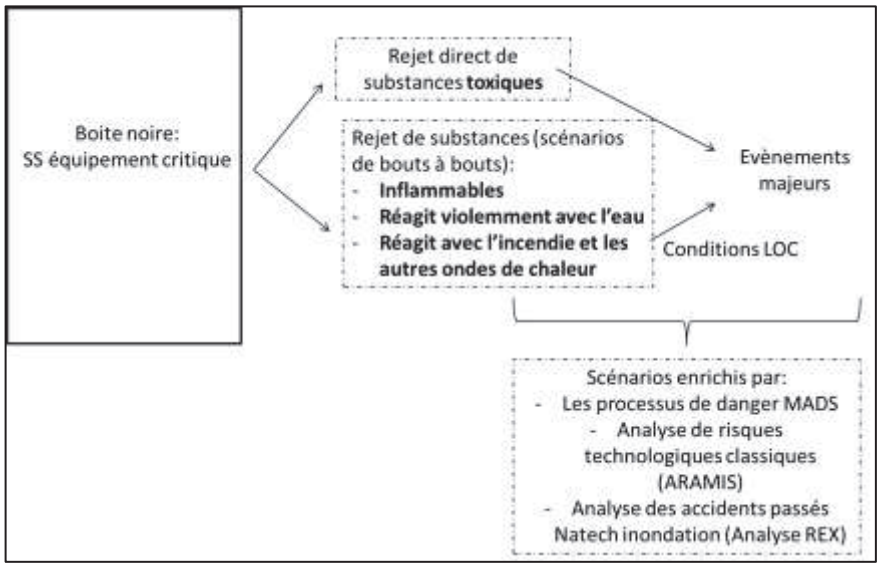

Boite noire:
SS équipement critique
Rejet direct de substances **toxiques**
Rejet de substances (scénarios de bouts à bouts):
- **Inflammables**
- **Réagit violemment avec l'eau**
- **Réagit avec l'incendie et les autres ondes de chaleur**
Evènements majeurs
Conditions LOC
Scénarios enrichis par:
- Les processus de danger MADS
- Analyse de risques technologiques classiques (ARAMIS)
- Analyse des accidents passés Natech inondation (Analyse REX)

Figure 38 : Synthèse de l'élaboration de l'arbre d'évènements sur la base de la boîte noire correspondant au sous-système « Equipements critiques ».

La figure 39 présente l'arbre d'évènements correspondant à l'évènement critique « brèche du contenant » associé aux équipements réservoirs de stockage et réacteurs.

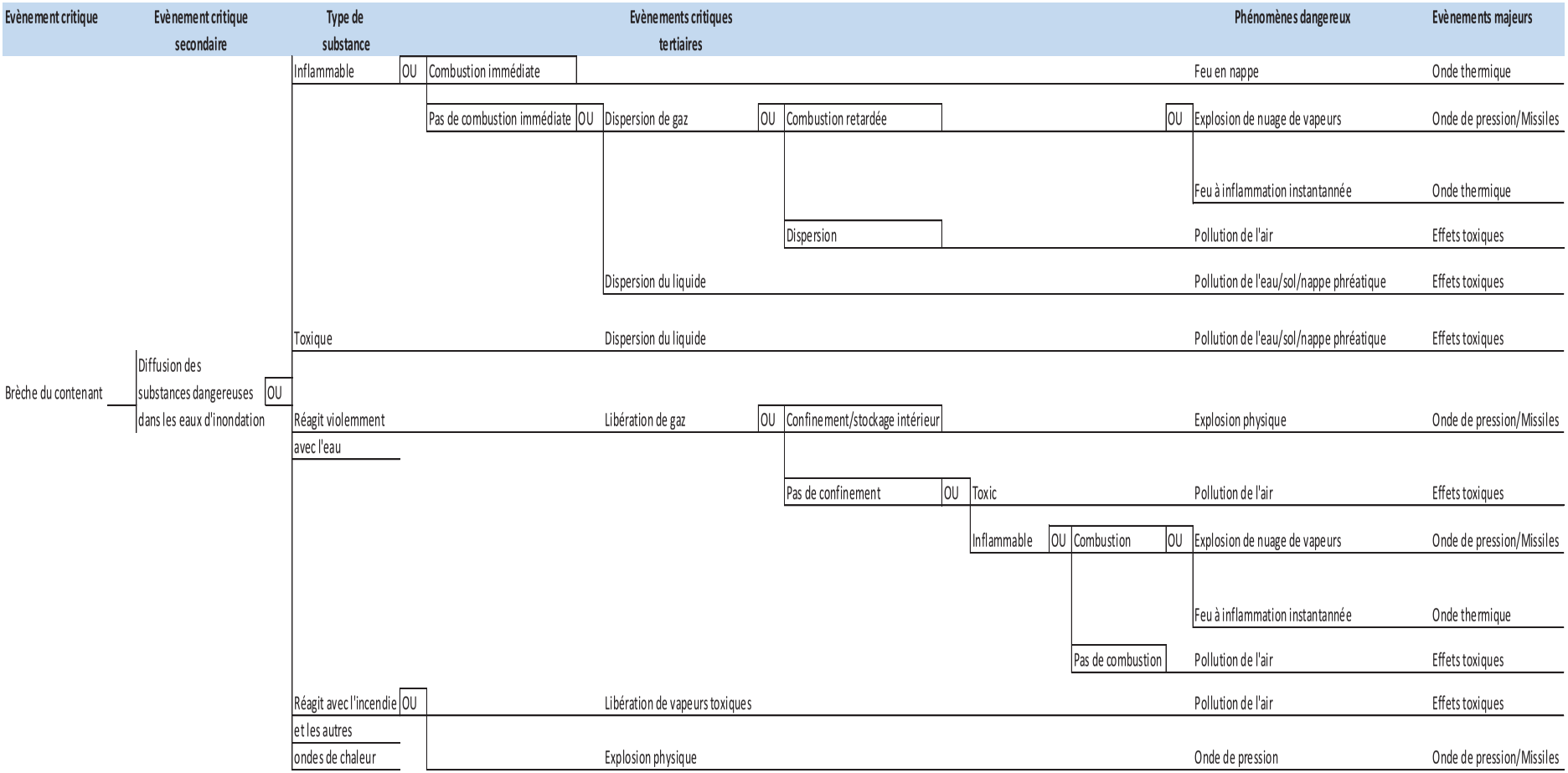


Figure 39 : Arbre d'évènements correspondant à l'évènement critique « Brèche du contenant ».

2.3.4.4 Nœuds papillons : scénarios génériques d'accidents Natech inondation

Chaque nœud papillon est obtenu par l'association d'un évènement critique correspondant à un équipement critique, de son arbre de défaillances à gauche (qui représentent les causes des évènements critiques) et de son arbre d'évènements à droite (qui représentent les conséquences des évènements critiques).

Ainsi le résultat de cette étape de la méthodologie est **le développement de cinq nœuds papillons génériques représentant les scénarios d'accidents Natech inondation.** Ces nœuds papillons sont présentés dans l'annexe 5.

Ces nœuds papillons génériques obtenus peuvent être modifiés dans le but de les adapter aux spécificités d'un certain type de secteur d'activité (échelle partielle) ou même à une installation industrielle bien particulière (échelle spécifique). En fonction des conditions spécifiques d'une activité, certaines branches peuvent être supprimées ou ajoutées.

En se basant sur ces nœuds papillons génériques, le développement du diagnostic de vulnérabilité d'un site industriel au risque Natech inondation va être ensuite effectué.

2.4 Quatrième Etape : Proposition de barrières de sécurité

A la suite de l'élaboration des scénarios génériques d'accidents Natech inondation, il est pertinent de proposer des barrières de sécurité qui vont permettre de les neutraliser (figure 18 page 82). Ainsi, afin de démontrer de la maîtrise du risque Natech inondation, des mesures de maîtrise de ce risque (MMR) ont été proposées.

2.4.1 Catégories de MMR adoptées

La circulaire du 10 mai 2010 définit une barrière comme : « *Ensemble d'éléments techniques et/ou organisationnels nécessaires et suffisants pour assurer une fonction de sécurité* ». Cette définition introduit la notion de fonction de sécurité qui est définie par cette même circulaire comme : « *Fonction ayant pour but la réduction de la probabilité d'occurrence et/ou des effets et conséquences d'un événement non souhaité dans un système. Les principales actions assurées par les fonctions de sécurité en matière d'accidents majeurs dans les installations classées sont : empêcher, éviter, détecter, contrôler, limiter…* ». Depuis quelques années, le terme « barrière de sécurité » tend à être remplacé par « Mesures de Maîtrise des Risques » (MMR) (Techniques de l'ingénieur, consulté le 15 Janvier 2013) (MEDDE Auvergne, consulté le 4 Décembre 2013).

Il existe deux catégories de barrières de sécurité constituant les MMR à la source et qui permettent de répondre à l'un des objectifs de la directive Seveso II concernant la maîtrise des risques à la source en réduisant la probabilité des accidents « barrières de prévention » mais aussi en limiter leurs effets à l'extérieur de l'établissement « barrières de protection ».

Selon (Périlhon, 2007), **les barrières de prévention** sont mises en place « afin d'éviter que les évènements, les faits ou les situations se produisent. Elles vont concerner les évènements initiateurs, les effets de champs, les ENS source et cible et les flux de danger » au niveau du processus de danger MADS. Ainsi, dans le cas du nœud papillon, il s'agit des MMR placées au niveau de l'arbre de défaillances des nœuds.

Les mesures de protection sont celles qui sont mises en place au niveau de la cible (d'après le processus de danger MADS de (Périlhon, 2007)) « en considérant que tous les évènements qui peuvent conduire à l'ENS cible ont lieu ». Cela rejoint la définition de (Techniques de l'ingénieur, consulté le 15 Janvier 2013), pour laquelle les MMR de protection visent à diminuer la gravité des effets du scénario d'accident (ce qui sous-entend que l'évènement dangereux s'est produit). Ces barrières sont placées au niveau de l'arbre d'évènements du nœud papillon.

Ces MMR sont positionnées sur toutes les branches des nœuds papillons (figure 40). Elles assurent ainsi **qualitativement** la maîtrise du risque Natech inondation en illustrant les scénarios évités en cas d'adoption des MMR proposées.

Il existe plusieurs sous-catégories des MMR de prévention et de protection qui sont illustrées dans le tableau 19. Ces différentes sous-catégories des MMR sont issues de l'examen d'une variété de documents allant des documents règlementaires, à des diagnostics de vulnérabilité au risque inondation en passant par la méthode MOSAR sur laquelle s'est basée notre méthodologie.

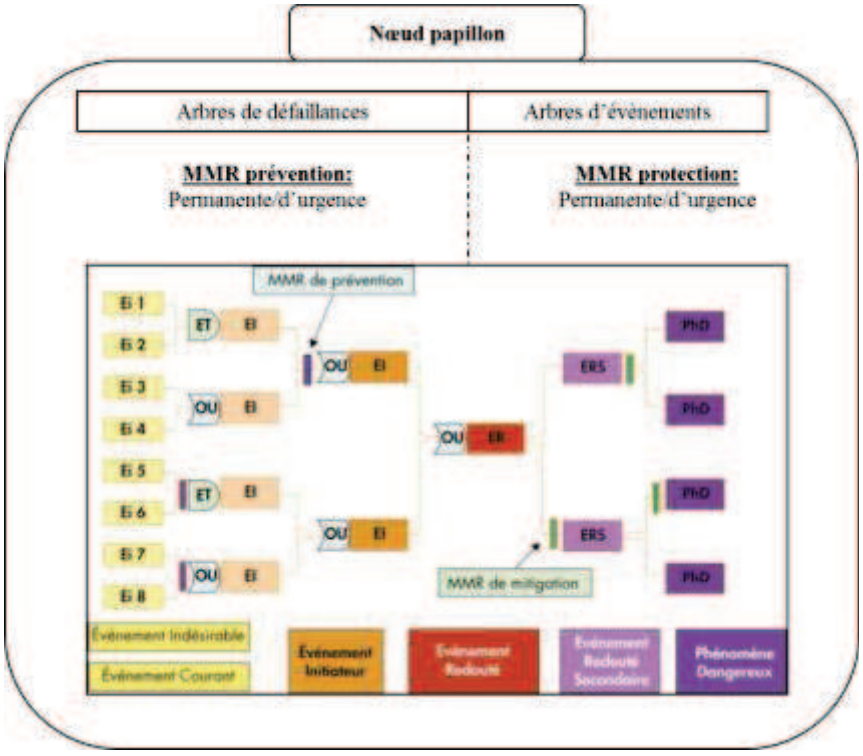


Figure 40 : Catégories de MMR adoptées dans le cadre de ce travail de recherche. Inspiré de (MEDDE-Direction des risques accidentels, 2004) (pour la légende, se référer au tableau 18 du page 119).

Les mesures de prévention et de protection proposées ont également été classées en utilisant les sous-catégories de mesures permanentes et mesures d'urgence. Les mesures permanentes sont installées en dehors des épisodes d'inondation et restent placées afin de maîtriser le risque en cas d'inondation. Alors que les mesures d'urgence, elles sont placées juste avant l'arrivée de l'inondation mais leur faisabilité dépend de la configuration des lieux, des spécificités des équipements et matériels (Ledoux, 2000) et du temps de délai entre le temps d'alerte et l'arrivée des eaux d'inondation (BARPI, 2011).

Dans le cadre de ce travail de recherche, l'attention a surtout porté sur les MMR à déployer avant l'arrivée de l'inondation et pendant l'inondation (en tant que gestion de crise). Uniquement quelques MMR après la crise sont proposées.

Egalement, nous pensons qu'au sein de l'établissement industriel, il existe déjà un grand nombre de MMR de protection qui sont déployées pour faire face au risque technologique et qui peuvent être utilisées dans le cadre du risque Natech inondation. Par contre, il faut examiner leurs potentielles défaillances en cas d'inondation comme ces mesures ne sont pas initialement conçues pour fonctionner en cas d'inondation du site.

2.4.2 Recherche des MMR sur la base des scénarios d'accidents proposés

La proposition des MMR au niveau des nœuds papillons est effectuée par une analyse branche par branche et présentée sous forme de tableau. L'analyse et la recherche de barrières de sécurité, notamment utilisées en gestion du risque inondation, s'est basée :

- sur la bibliographie (MEDDE et EPL, 2008) (Egli, 2002) (Bouissou, 2011) (Wells, 1997) (GSC MEDDE, 2007) (Cruz et al., 2004) (SPPPI, 2008) (METL MEDDE, 2012) (METL, 2010) (Ledoux, 2000) (INERIS, 2004) (MEDDE DPPR, 2005b)
- sur des analyses REX en s'inspirant des mesures déjà adoptées:
  - de la base de donnée ARIA (BARPI, 2011) et
  - des visites d'entreprises qui ont déjà été inondées.

2.4.2.1 Les MMR de prévention : Proposition de mesures au niveau des arbres de défaillances

Ces MMR concernent les conséquences de l'aléa inondation sur l'installation industrielle.

Les scénarios d'effets dominos incendie et explosion représentés dans les arbres de défaillances n'ont pas de MMR propres. Ces effets dominos sont considérés en évitant les accidents technologiques et en arrêtant leur évolution.

De même, pour les branches effets domino de choc entre les éléments de l'atelier : ils sont pris en compte en évitant le déplacement des différents éléments de l'atelier par les eaux d'inondation.

Il existe trois stratégies qui peuvent être envisagées au niveau du bâti permettant de répondre aux objectifs de prévention du risque inondation (METL MEDDE, 2012).

Eviter l'inondation, c'est se mettre hors d'atteinte de l'eau (en s'implantant hors zone inondable ou en surélevant l'habitation de telle sorte que le plancher soit au-dessus de la cote de référence) (Figure 41a). Cette stratégie est envisageable pour la construction neuve, mais ne l'est pas dans le cas d'un habitat existant. Dans le cas de ce mémoire, nous considérons seulement l'installation industrielle déjà installée en zone inondable.

Résister à l'assaut de l'eau implique la mise en œuvre de protections soit collectives (digue) soit individuelles (batardeaux) (Figure 41b). Ces mesures sont qualifiées de « mesures de résistance à l'entrée de l'eau à l'échelle du bâtiment » (MEDDE et EPL, 2008). Ces dispositifs permanents ou temporaires ne permettent de protéger les bâtiments que jusqu'à un certain niveau d'agression. Ils présentent également des limites. Le batardeau limite la pénétration de l'eau mais ne peut pas être parfaitement étanche, aussi est-il nécessaire d'accompagner sa mise en œuvre de mesures complémentaires (pompage, surélévation des biens à l'intérieur du bâtiment).

Tableau 19 : Comparaison entre les catégories des MMR de prévention et de protection dans une variété de documents bibliographiques.

Document examiné	Etude de danger (SPPPI, 2008)	PPR inondation (Garry et Graszk, 1999)	Rapport bassin du Rhin (Egli, 2002)	Méthode MOSAR (Périlhon, 2007)
Catégories de MMR proposées	- MMR de prévention/de mitigation (dont intervention) - MMR humaine/ technique (dispositif de sécurité passif ou actif et SIS)/SAMS	En fonction de l'objectif à atteindre : - Assurer la sécurité des personnes/ limiter les dommages aux biens/ faciliter le retour à la normale	- Mesures de construction de prévention / de comportement préventif / de prévention des risques (dont les mesures d'urgence)	- Barrières de prévention/ protection/ prévision - Barrières (de prévention et de protection) techniques (BT)/opératoires ou d'utilisation (BO ou BU) - Moyens de prévision et de réparation des conséquences des risques : élaboration de plan d'intervention /procédures ultimes
Particularité du document examiné	Evaluation de la performance des MMR : défaillance, temps de réponse, efficacité	- La prise en compte de la nature de l'aléa - Etude des MMR au cas par cas par l'intermédiaire d'un diagnostic	Etude d'efficacité des mesures	Qualification des barrières/Défense en profondeur/management de la sécurité

Document examiné	Guide Ledoux (Ledoux, 2000)	Thèse Mengual (Mengual, 2005)	Guide INERIS (INERIS, 2004)	Diagnostic EPL (EPL, Consulté le 10 Novembre 2010)
Catégories de MMR proposées	- Mesures techniques : de protection permanente/ d'urgence - Mesures organisationnelles : Avant la crise/ pendant la crise/ après la crise	- Mesures de réduction des dommages matériels/ de réduction des vulnérabilités organisationnelles - Mesures d'urgence (dans un plan d'urgence)/ permanente (dans un plan d'actions)	- Mesures de prévention/ mesures d'intervention ou d'urgence (plan d'urgence inondation)/ gestion après crise et retour à la normale	- Mesures organisationnelles/ humaines/techniques - Mesures avant/ pendant/ après l'inondation
Particularité du document examiné	Evaluation du coût des recommandations afin de démontrer de leur utilité	Principe PDCA (En anglais : Plan-Do-Check-Act) : on reprend le diagnostic pour prouver la diminution de la vulnérabilité de l'entreprise	Réflexion sur les barrières spécifiques Natech inondation : barrières d'un point de vue systémique dans un plan d'intervention inondation	

Lors des submersions supérieures à 1 m, il est indispensable de laisser l'eau circuler librement à l'intérieur du bâtiment. La pression exercée par l'eau est en effet susceptible de causer des dégâts irréparables à la structure. Il est donc important d'équilibrer la pression entre les parois intérieures et extérieures.

Céder consiste à laisser pénétrer l'eau dans le bâtiment (Figure 41c). Ces mesures sont qualifiées de « mesures de résilience » (MEDDE et EPL, 2008). Elles sont orientées vers la diminution des dommages en cas d'inondation dans le bâtiment et facilitent le retour à la normale après celle-ci : refuges, mise hors d'eau des réseaux et produits dangereux, revêtements compatibles avec l'eau, limitation de l'occupation en rez-de-chaussée, etc. Elles se basent sur plusieurs stratégies différentes (Mengual, 2005). Une fois l'eau à l'intérieur du bâtiment, afin d'éviter le déplacement du bien, son contact avec l'eau et son contact avec les débris externes, il est possible de :

- Déplacer l'équipement hors de la zone inondable (définitivement ou temporairement),
- Déplacer l'équipement en hauteur au-dessus de la hauteur d'eau maximale (définitivement ou temporairement),
- Protéger la salle où se trouve l'équipement (définitivement ou temporairement),
- Protéger l'équipement lui-même (définitivement ou temporairement).

Une anticipation de cet événement permet de limiter les dommages. Cette anticipation passe par une adaptation des ouvrages qui sont potentiellement immergés et par une organisation visant à permettre, en temps voulu, la mise à l'abri des objets à l'intérieur du bâtiment.

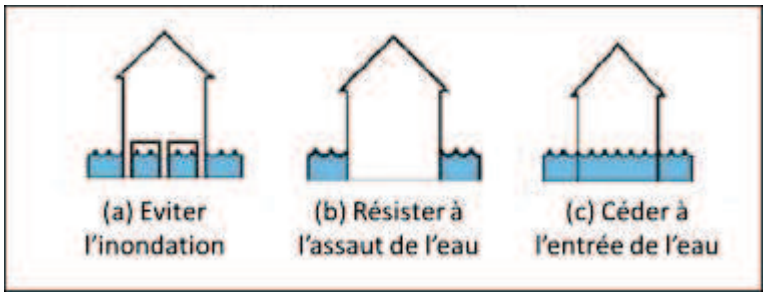


Figure 41 : Stratégies de prévention du risque inondation (METL MEDDE, 2012).

La proposition des MMR de prévention s'est basée sur les deux dernières stratégies. Un extrait de ces MMR est présenté dans le tableau 20 tout en précisant les difficultés de mise en œuvre de ces mesures (l'ensemble de ces MMR est présenté dans l'annexe 6). Une numérotation des scénarios des nœuds a été effectuée afin de retrouver les MMR relatives aux scénarios correspondants : A chaque arbre de défaillances correspondant à un évènement critique, une lettre lui a été attribuée, puis des numéros ont été donnés à chacune des branches de ces arbres :

- La lettre A pour l'arbre de défaillances correspondant à l'évènement Brèche du contenant ;
- La lettre B pour le renversement de l'équipement ;
- La lettre C pour le noyage de l'équipement ;
- La lettre D pour la défaillance du système de contrôle du niveau ;
- La lettre E pour la rupture de canalisations.

2.4.2.2 Les MMR de protection : Proposition de mesures au niveau des arbres d'évènements

Ces mesures vont agir au niveau des conséquences de l'aléa technologique sur l'environnement : Certaines vont permettre d'éviter la réalisation de l'accident technologique et d'autres vont agir pour limiter leur évolution afin de réduire leurs effets sur le voisinage de l'entreprise et sur l'industrie elle-même (effet domino).

Comme plusieurs MMR de protection existent déjà au sein d'une installation industrielle pour faire face à un accident technologique d'origine interne (obligation dans la règlementation ICPE), une liste non exhaustive de certaines MMR a été présentée dans le tableau 21 (une liste plus complète est présentée dans l'annexe 7). Une analyse des possibilités de défaillance de ces mesures a été envisagée, en cas de pertes d'utilités provoquée par l'inondation (caractéristique des accidents Natech). Egalement, les scénarios ont été numérotés afin de les relier aux MMR correspondantes (première colonne à gauche du tableau 21). Une lettre est attribuée à chacune des branches correspondant aux types de substances dangereuses, puis à chaque bout de ces branches des numéros sont donnés :

- La lettre A' pour la branche correspondant au rejet de substances inflammables ;
- La lettre B' pour les substances réagissant violemment avec l'eau ;
- La lettre C' pour les substances toxiques ;
- La lettre D' pour les substances réagissant avec les incendies et les autres ondes de chaleur.

Pour être le plus exhaustif, il est judicieux d'analyser par la suite au cas par cas, pour les MMR de protection existantes, lesquelles vont toujours fonctionner en cas d'inondation sans oublier celles qui peuvent devenir défaillantes suite à la perte d'utilités. Pour cela, les MMR de protection proposées ont été divisées en plusieurs catégories de MMR technologiques classiques afin de pouvoir les relier à d'autres MMR déjà présentes sur le site industriel. Les différentes catégories sont les suivantes :

- Mesures pour limiter la diffusion des substances dangereuses par les eaux d'inondation
- Mesures pour limiter la progression aux incendies
- Mesures pour limiter la propagation et les effets des incendies
- Mesures pour limiter la progression à la pollution de l'eau, de l'air et du sol
- Mesures pour limiter la propagation de la pollution de l'eau, de l'air et du sol
- Mesures pour limiter la progression aux explosions
- Mesures pour limiter la propagation et les effets des explosions

Remarque : Une catégorie de MMR technologique classique n'a pas été abordée : Limiter la propagation et les effets des explosions. Egalement, aucune limitation de la progression à la pollution de l'air n'a été proposée

Si cette stratégie présente un caractère générique, son efficacité implique une analyse détaillée et une mise au point spécifique liée aux caractéristiques du site et des installations concernées. En pratique cette mise au point mérite d'être proportionnée aux enjeux liés aux conséquences possibles et aux vulnérabilités impliquées. Les mesures et techniques disponibles fournissent en général une référence utile pour la définition des dispositions à adopter.

Tableau 20 : Extrait du tableau présentant les MMR de prévention (MP : Mesure permanente ; MU : Mesure d'urgence).

Eléments concernés	Types de MMR	MMR identifiées	Facteurs de risques
Eviter l'entrée de l'eau dans le bâtiment (+les débris externes)			
	MP/Implantation	Bassin de rétention autour du site permettant de diminuer les hauteurs d'eau dans l'installation + système de balisage permettant de repérer l'emprise de ces bassins	-disponibilité d'espace pour un bassin de rétention
	MU/Mesure d'urgence	Occulter par des dispositifs temporaires les bouches d'aération et de ventilation ainsi que les trappes d'accès au vide sanitaire : utilisation de couvercles se fixant par une simple pression clip, installer des clapets anti-retour au niveau des remontées d'égouts, vannes manuelles sur réseau d'assainissement afin d'éviter les remontées par les égouts	-Faire attention au nombre des clapets anti-retour sur un même réseau ce qui peut provoquer sa mise en surpression en cas de crue -Disponibilité du personnel d'urgence -Possibilité d'accès du personnel d'urgence -Temps suffisant entre l'alerte et l'arrivée des eaux -Existence d'une procédure préalable d'urgence -Disposition préalable du matériel
	MP/Implantation	Système de repérage visuel des dispositifs de coupures des vannes du réseau d'assainissement	
	MP/Implantation MU/Mesure d'urgence	Installer des tampons de regard de visite repérables, accessibles et résistants à la mise en charge du réseau : les regards sur les réseaux permettant une inspection visuelle de l'état du réseau doivent être équipés d'un tampon verrouillable pour éviter leur éjection en cas de mise en pression.	-Disponibilité du personnel d'urgence -Possibilité d'accès du personnel d'urgence -Temps suffisant entre l'alerte et l'arrivée des eaux -Existence d'une procédure préalable d'urgence -Disposition préalable du matériel
Eviter le déplacement par les eaux de l'équipement, son contact avec l'eau, son contact avec les débris externes : Déplacement de l'équipement (définitif ou temporaire) hors de la zone inondable			
Numéros des scénarios concernés : A1/A2/ A4/A511/A512/A531/A532/B1/B2/B4/B511/B512/B531/B532/D311/D312/D331/D332/E1/E2/E5/E611/E612/E631/E632			
Equipements critiques, non critiques, électriques, de contrôle, de chauffage et de refroidissement	MU/Mesure d'urgence	Déplacement dans une zone de refuge dans le site ou hors du site (placer l'équipement sur une sorte de base avec des roues pour faciliter le déplacement)	-Disponibilité du personnel -Possibilité d'accès du personnel d'urgence -Présence et définition préalable d'une zone refuge
Eviter le déplacement par les eaux de l'équipement, son contact avec l'eau, son contact avec les débris externes : Déplacement de l'équipement en hauteur (définitif ou temporaire) au-dessus de la hauteur d'eau maximale			
Numéros des scénarios concernés : A1/A2/ A4/A511/A512/A531/A532/B1/B2/B4/B511/B512/B531/B532/D311/D312/D331/D332/E1/E2/E5/E611/E612/E631/E632			

Equipements critiques, non critiques, électriques, de contrôle, de chauffage et de refroidissement	MP/ Mesure définitive	Déplacement définitif sur : racks, étagères, trémies…	-Existence d'un lieu sûr en hauteur -Configuration de l'équipement permettant son déplacement
Eviter le déplacement par les eaux de l'équipement, son contact avec l'eau, son contact avec les débris externes : L'équipement est gardé sur place et le local particulièrement sensible est protégé			
Numéros des scénarios concernés : A1/A2/ A4/A511/A512/A531/A532/B1/B2/B4/B511/B512/B531/B532/D311/D312/D331/D332			
Equipements critiques (sans les canalisations), non critiques, électriques, de contrôle, de chauffage et de refroidissement	MP/Implantation	Confinement de l'équipement en murant les portes	-Limites de place de confinement -Limites de déplacement de l'équipement -S'assurer que les produits en question peuvent être confinés (sans augmenter leur dangerosité en cas d'accident) -MMR lourde et coûteuse
Equipements critiques, non critiques, électriques, de contrôle, de chauffage et de refroidissement	MU/Mesures d'urgence	Etanchéification du local particulièrement sensible : Batardeaux d'urgence autour du local, utilisation de digues de sable ou des structures souples à remplir d'eau épousant les formes d'ouvrages à protéger, renforcement des portes et des serrures, obturation des portes et fenêtres par des panneaux mobiles	-Disponibilité du personnel d'urgence -Possibilité d'accès du personnel d'urgence -Temps suffisant entre l'alerte et l'arrivée des eaux -Existence d'une procédure préalable d'urgence -Disposition préalable du matériel -Pour les structures souples : état critique, la moindre crevaison peut les rendre inefficaces -Pour les batardeaux d'urgence : utilisation limitée dans le cas d'inondation avec beaucoup de courant, et pour une hauteur d'eau supérieure à 1 m et une durée de submersion supérieure à 48h et efficacité dépend de l'adhésion du dispositif au mur qui est fonction de la nature des murs et de la qualité des joints et des fixations
Eviter le déplacement par les eaux de l'équipement, son contact avec l'eau, son contact avec les débris externes : L'équipement est gardé sur place et est protégé lui-même			

Equipements critiques, non critiques, électriques, de contrôle, de chauffage et de refroidissement	MP/Implantation	Murets de protection autour de l'équipement (cuves de rétention) Numéros des scénarios concernés: A1/A2/ A4/A511/A512/A531/A532/B1/B2/B4/B511/ B512/B531/B532/D311/D312/D331/D332/E1/ E2/E5/E611/E612/E631/E632	-Limite de la configuration de l'équipement pour possibilité de placement d'un muret -Limite de hauteur pour accéder aux équipements -Risque de choc avec des engins de manutention enlevant leur efficacité -Maintenance continue pour préserver leur efficacité -Bon entretien des capacités de rétention (nettoyage, étanchéité, disponibilité)
Equipements critiques, non critiques, électriques, de contrôle, de chauffage et de refroidissement	MU/Mesures d'urgence	Batardeaux d'urgence autour de l'équipement/Sorte de murets avec ouvertures Numéros des scénarios concernés: A1/A2/ A4/A511/A512/A531/A532/B1/B2/B4/B511/ B512/B531/B532/D311/D312/D331/D332/E1/ E2/E5/E611/E612/E631/E632	-Disponibilité du personnel d'urgence -Possibilité d'accès du personnel d'urgence -Temps suffisant entre l'alerte et l'arrivée des eaux -Existence d'une procédure préalable d'urgence -Utilisation limitée dans le cas d'inondation avec beaucoup de courant -Efficacité dépend de l'adhésion du dispositif au mur qui est fonction de la nature des murs et de la qualité des joints et des fixations
Equipement critique : réservoir de stockage	MP/contrôle	Contrôle du stock pour minimiser la quantité de substances dangereuses stockées Numéros des scénarios concernés: A1/A511/B1/B511/D1/D311	Mesure déjà prise en compte dans la règlementation ICPE
Equipement électrique	MP/Implantation	Utilisation de sprinklers à eau pour limiter les effets de l'incendie non domino Numéros des scénarios concernés: A72/D52/E82	
Equipement électrique	MU/Mesures d'urgence	Utilisation d'extincteur de feu portable pour limiter les effets de l'incendie non domino Numéros des scénarios concernés: A72/D52/E82	
Equipements non critiques	MP/implantation	Grille entourant l'équipement pour éviter les chocs avec les équipements non critiques déplacés Numéros des scénarios concernés: A531/A532/B531/B532/D331/D332/ E631/E632	-Limite de place pour la disposition d'une grille -Limite de la configuration de l'équipement

Equipements non critiques	MP/implantation	Arrimage des éléments susceptibles de se déplacer lors de l'inondation et qui ne peuvent être retirés (tels que les remorques, matériel entreposé à l'extérieur…) Numéros des scénarios concernés: A531/A532/B531/B532/D331/D332/ E631/E632	
Systèmes de contrôle	MP/implantation	Se munir de groupe électrogène pour maintenir les systèmes de contrôle en marche pendant un certain lapse de temps Numéros des scénarios concernés: A8416/D6	-Applicable pour certains équipements critiques qui ont besoin d'un temps d'arrêt supérieur au temps d'alerte
Systèmes de contrôle	MP/implantation MU/Mesure d'urgence	Utiliser des SIS (Safety Instrumented Systems) pour contrôler les réactions secondaires et d'emballement tels que des systèmes de refroidissement d'urgence Numéros des scénarios concernés: A841	-Pour les équipements qui doivent être maintenus en marche -Disponibilité du personnel d'urgence -Possibilité d'accès du personnel d'urgence -Temps suffisant entre l'alerte et l'arrivée des eaux -Existence d'une procédure préalable d'urgence
Système de chauffage et de refroidissement	MP/implantation	Prévoir les systèmes de chauffage et de refroidissement en hauteur pour éviter le contact avec l'eau Numéros des scénarios concernés: A8421/A8422	SE REFERER à la partie déplacement en hauteur -Plus spécifiquement pour les systèmes correspondants aux équipements qui doivent être maintenus en marche
Système de chauffage et de refroidissement	MP/implantation	Se munir de groupe électrogène pour maintenir les systèmes de chauffage et de refroidissement en marche pendant un certain lapse de temps Numéros des scénarios concernés: A8426	-Applicable pour certains systèmes qui ont besoin d'un temps d'arrêt supérieur au temps d'alerte
Structures du bâtiment	MP/implantation	Une bêche en béton permet de protéger les fondations en amont du flux prévisible. Un dallage de couverture (trottoir de protection) en béton armé joignant la bêche à la façade et présentant une légère contre-pente évite le risque de creusement du sol par l'eau en aval de la bêche. Numéros des scénarios concernés: A521/B521/D321/E621	- MMR lourde et coûteuse
Structures du bâtiment	MP/implantation	Solutions de protection par tapis d'enrochement, si les abords le permettent. Numéros des scénarios concernés: A521/B521/D321/E621	-Limite d'espace disponible -Fonction des abords

Tableau 21 : Extrait du tableau présentant les MMR de protection (MP : Mesure permanente ; MU : Mesure d'urgence).

Numéros des scénarios concernés	Equipements concernés	Types de mesures	MMR proposées (technologique classique)	Défaillance
Limiter la diffusion par les eaux d'inondation (contre-mesures de rejets de substances dangereuses)				
	Equipement critique : réservoir de stockage	MP/Implantation	Scellement hermétique des réservoirs de stockage	
	Equipement critique : réservoir de stockage et réacteur	MP/Implantation	Murets de protection autour de l'équipement (cuves de rétention)	
Limiter la progression aux incendies				
A'1/ C'5/ D'1	Equipement critique : réservoir de stockage et réacteur	MP/Mesure définitive	Eloigner les équipements critiques contenant des substances inflammables d'autres équipements critiques présentant la possibilité d'incendie ou d'explosion et de toute autre source d'onde de chaleur (équipements électriques) d'une distance de plus de 50m	
		MU/Mesures d'urgence	Diluer le mélange de substances inflammables rejetées : système de ventilation, rideaux de vapeur ou d'eau, avec un matériau d'extinction ou un liquide de vaporisation	Oui en cas de pertes d'utilités
A'3/C'1		MP/Implantation	Utilisation de détecteur de gaz et d'alarmes	Oui en cas de pertes d'utilités
		MU/Mesures d'urgence	Système de ventilation pour diluer les rejets de gaz inflammables dispersés	Oui en cas de pertes d'utilités
Limiter la propagation et les effets des incendies				
A'2/ A'5/ A'6/ C'7		MP/Implantation	Utilisation de sprinklers à eau	Oui en cas de pertes d'utilités
		MU/Mesures d'urgence	Utilisation de seaux d'eau ou de sable	
A'7/ C'4/ C'8/ D'2		MP/Implantation	Utilisation de détecteur de gaz et d'alarmes	Oui en cas de pertes d'utilités
Limiter la progression à la pollution				
A'9/ B'2/B25		MP/Implantation	Mesures de dépollution interne : Faciliter l'évacuation des eaux et ainsi limiter leur accumulation : Une configuration efficace des systèmes de récupération, de traitement et d'évacuation des eaux pluviales (système de drainage)	
		MP/Implantation	Mesures de dépollution interne : mise en place de réservoirs de collecte en points bas équipés de pompes afin de permettre une évacuation de l'eau au fur et à mesure de son arrivée sur la zone et la dépolluer avant de la rejeter dans l'environnement	

Conclusion du chapitre 2

La démarche pour le développement d'une méthodologie de gestion du risque Natech inondation a été présentée dans ce chapitre. La première étape de cette démarche a consisté en une étude REX portant sur les accidents Natech inondation, ce qui a permis d'identifier certaines de leurs caractéristiques. Ensuite, une modélisation conceptuelle d'une installation ICPE a été effectuée. Elle a servi de base pour l'analyse en profondeur des sources de danger présentes au sein d'une installation industrielle et susceptibles de provoquer des accidents technologiques suite à l'inondation. Ce travail a été suivi par l'identification de l'enchaînement des évènements depuis ces sources de danger jusqu'au voisinage du site industriel afin de comprendre comment les impacts induits peuvent apparaitre et quelles en sont les conséquences. C'est ainsi que des scénarios d'accidents Natech inondation génériques ont été élaborés. Ces scénarios sont représentés sous forme de nœuds papillons.

La figure 42 synthétise les différentes étapes de la méthodologie adoptée aboutissant à l'élaboration des nœuds papillons génériques.

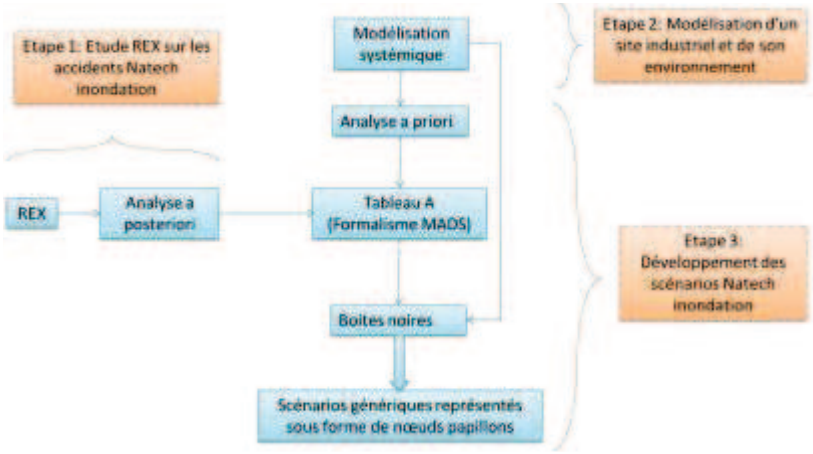

Etape 1: Etude REX sur les accidents Natech inondation
Modélisation systémique
Etape 2: Modélisation d'un site industriel et de son environnement
Analyse a priori
REX
Analyse a posteriori
Tableau A (Formalisme MADS)
Etape 3: Développement des scénarios Natech inondation
Boites noires
Scénarios génériques représentés sous forme de nœuds papillons

Figure 42 : Synthèse des différentes phases des étapes 1, 2 et 3 de la méthodologie.

En outre, le tableau 22 résume, pour les étapes 1, 2 et 3 de la méthodologie, les points positifs de chaque méthode adoptée par rapport à notre travail de recherche, les difficultés rencontrées durant l'application de ces méthodes, ainsi que les solutions proposées. Ce tableau met en évidence également nos apports par rapport aux méthodes adoptées (tableau 22).

Ainsi, pour mener à bien les deux échelles d'analyse du risque naturel et technologique, le travail de recherche s'est appuyé sur une batterie d'outils et de méthodes dont notamment la problématique et la méthodologie de la Science du danger/ Modèle MADS - processus de danger. Ce modèle systémique de référence et les outils qui leur sont associés (MADS-MOSAR) permettent de se centrer sur les mécanismes des accidents Natechs. Ces outils qui s'appuient notamment sur la notion de sources de danger, cibles, flux de danger, évènement initiateur… sont particulièrement bien adaptés à l'analyse des mécanismes mis en jeu lors d'un accident Natech dans lequel les phénomènes dangereux d'origine naturelle vont provoquer « en cascade » des effets sur de nouvelles cibles « technologiques » qui à leur tour sont sources de flux de danger pour les populations humaines et les écosystèmes qui en subissent les effets. Aussi, la méthodologie adoptée consiste notamment à apporter des « extensions » à la méthode MADS-MOSAR adaptées à la problématique Natech (modélisation contextuelle/conceptuelle d'une installation industrielle, création d'une typologie spécifique de systèmes sources de danger et de flux de danger Natech).

Tableau 22 : Tableau résumant les points positifs de chaque méthode adoptée par rapport à notre travail de recherche, les difficultés rencontrées et les solutions proposées (pour les étapes 1, 2 et 3 de la méthodologie).

Etape de la méthodologie	Points positifs	Difficultés rencontrées	Solutions proposées
Etape 1 : Analyse REX	Identification de caractéristiques générales des accidents Natech tels que le rejet de substances dangereuses caractérisant ces accidents	-Manque de rapports d'accidents standardisés Natech inondation -Manque d'informations sur les causes des évènements critiques	**-Scénarios génériques d'accidents Natech inondation** **-Recours à des accidents technologiques classiques avec causes de défaillances internes (notamment les arbres de défaillances développés dans le projet ARAMIS)**
Etape 2 : Modélisation conceptuelle d'une installation ICPE	Base pour une analyse de risques exhaustive	Difficulté d'effectuer une modélisation fonctionnelle	**Utilisation des principes de modélisation en entreprise : modélisation contextuelle/conceptuelle (en suivant le modèle proposé par MOSAR)**
Etape 3 : Développement des scénarios d'accidents Natech inondation- Phase 1 et 2 : Analyse MADS et technique des boîtes noires	-Vision exhaustive du risque Natech inondation -Elaboration de scénarios courts d'accidents -Organisation et formalisation des résultats de l'analyse REX	-Typologie initiale de systèmes sources de dangers MOSAR inadaptée à des types de dangers dans certains secteurs d'activité - Explosion potentielle du nombre de scénarios d'accidents	**-Nouvelle typologie de systèmes sources de dangers propres au risque Natech inondation** **-Etude centrée sur les sources de danger les plus dangereuses : « les équipements critiques » (inspiré du projet ARAMIS), les causes d'accident externes « l'aléa naturel inondation » et les accidents technologiques majeurs potentiels**
Etape 3 : Développement des scénarios d'accidents Natech inondation- Phase 3 : Construction des scénarios (élaboration des arbres de défaillances)	Développement des arbres de défaillances à partir des liaisons entre les boîtes noires	Manque de méthodes de gestion du risque Natech inondation qui s'intéressent aux causes des évènements critiques	**Analyse des causes des dommages structuraux des équipements critiques à l'aide du formalisme MADS/MOSAR**
Etape 3 : Développement des scénarios d'accidents Natech inondation- Phase 3 : Construction des scénarios (élaboration des arbres d'évènements)	Identification d'un groupe de danger de substances caractéristiques des accidents Natech inondation : réagissant violement avec l'eau	Manque de détails des conséquences des Natechs inondation dans les REX	**Enrichissement par des scénarios d'accidents technologiques classiques (pour les substances chimiques toxiques et inflammables) et par les analyses d'accidents passés Natech inondation qui portent sur les conséquences des rejets (pour les substances réagissant avec l'eau et l'incendie et les autres ondes de chaleur)**
Etape 3 : Développement des scénarios d'accidents Natech inondation- Phase 3 : Construction des scénarios (élaboration des nœuds papillons)	Outil efficace pour développer le diagnostic de vulnérabilité formé de 2 parties : 1) arbre de défaillance : pour évaluer la vulnérabilité au risque inondation 2) arbre d'évènements : pour comprendre comment l'industrie se comporte en tant que source vis-à-vis du risque technologique.	-	-

Chapitre 3. Validation et utilisation des scénarios génériques pour l'élaboration d'un outil de diagnostic

Chapitre 3. Validation et utilisation des scénarios génériques pour l'élaboration d'un outil de diagnostic

Le développement des scénarios génériques d'accidents Natech s'est basé sur un modèle conceptuel/contextuel d'une entreprise ICPE. Afin de s'assurer que ce modèle est suffisamment représentatif, une validation des scénarios est effectuée dans ce chapitre.

Une première validation générique (partie 3.1) se base sur une modélisation fonctionnelle détaillée d'un secteur d'activité, ce qui permet de passer d'une modélisation conceptuelle générique à une modélisation plus spécifique afin d'augmenter le niveau de détails de l'analyse.

Ensuite, la complétude et la plausibilité des scénarios sont testées à l'échelle spécifique de deux entreprises situées en zone inondable (partie 3.2). En complément à la validation spécifique des scénarios, la partie 3.2 du chapitre va permettre de répondre à la quatrième hypothèse de recherche énoncée dans le chapitre 1 du manuscrit : « Proposer une méthode de gestion de risque Natech inondation simple d'utilisation organisée sous forme de diagnostic de vulnérabilité et plus particulièrement sous forme de questionnaire, plutôt qu'une méthode de gestion de risque probabiliste quantitative ». En effet, l'étude bibliographique du premier chapitre a révélé le caractère qualitatif et assez descriptif des informations portant sur les accidents Natech inondation.

En conséquence, et comme les résultats de ce travail de recherche ont été présentés sous forme de nœuds papillons et de MMR de prévention et de protection identifiées dans le chapitre 2, la partie 3.3 de ce chapitre présentera les résultats du travail sous une autre forme : un outil de diagnostic accompagné d'un catalogue de MMR de prévention.

3.1 Validation des scénarios d'accidents

Une fois les scénarios génériques d'accidents technologiques induits par l'inondation élaborés, et avant de les utiliser pour le développement de l'outil de diagnostic, il est utile de les valider.

La validation des scénarios a comme but d'étudier :

- La complétude des scénarios : Ce qui nous permettra de répondre aux questions suivantes « Est-ce que les scénarios d'accidents pris en compte par les nœuds papillons sont complets ? » et « Prennent-ils en considération l'ensemble des accidents Natech inondation qui peuvent potentiellement avoir lieu dans une entreprise quel que soit son activité ? »
- La plausibilité des branches : Afin de pouvoir répondre à la question « Est-ce que les scénarios représentés par les branches des nœuds papillons sont plausibles ? »

Il est utile de se poser ces questions notamment car ces scénarios ont été élaborés à partir d'une représentation systémique générique d'une entreprise soumise à l'aléa inondation.

Ainsi, la validation des scénarios s'est fait à deux niveaux différents :

- Générique : Pour cela, le choix d'un secteur d'activité a été effectué « le secteur de traitement de surface ». Une description détaillée d'un atelier de traitement de surface est réalisée et l'impact d'une inondation envisagée. Le but étant de s'assurer que les scénarios proposés prennent en compte l'ensemble des évènements potentiels induits par l'inondation dans ce secteur d'activité choisi (**complétude**) ;
- Spécifique : A l'échelle spécifique d'installations industrielles situées en zone inondable, qui ont été inondées ou pas. Cela consiste à s'assurer que les scénarios proposés prennent en compte l'ensemble des évènements potentiels induits par l'inondation à l'échelle spécifique des installations industrielles étudiées (**complétude**). Ensuite, le travail est poursuivi auprès des industriels permettant de prendre leur avis sur les scénarios proposés. Pour les industriels ayant subi une ou plusieurs inondations, leurs expériences permettent de décrire l'enchaînement réel des évènements observés suite à l'inondation de leur site (**complétude et plausibilité**). Pour les industriels qui n'ont pas vécu un épisode d'inondation mais qui sont situés en zone inondable, leur point de vue est intéressant pour tester leur perception de l'aléa inondation menaçant leur site et des scénarios proposés (**plausibilité**).

3.1.1 Validation générique des scénarios d'accidents au niveau d'un secteur industriel spécifique : le traitement de surface

Les scénarios d'accidents déclenchés par l'inondation d'une installation industrielle ont été élaborés sur la base d'une modélisation conceptuelle générique de cette dernière. Il est donc indispensable de valider ces scénarios dans un secteur d'activité précis dans le but de valider l'applicabilité de la méthode générique à une application spécifique mais aussi de rechercher des lacunes potentielles, notamment induites par la modélisation conceptuelle générique, dans la définition des scénarios génériques d'accidents.

Pour cela, le secteur d'activité du traitement de surface a été choisi. De plus, l'analyse est menée en s'appuyant sur une modélisation non plus conceptuelle mais plus détaillée. C'est pourquoi, afin de s'assurer de l'exhaustivité des scénarios génériques, une modélisation structuro-fonctionnelle détaillée d'un atelier de traitement de surface a été effectuée en utilisant l'outil SADT (Structures Analysis and Design Technique). Ensuite, une analyse MADS a été menée pour identifier les flux de danger potentiels d'accidents technologiques induits par l'inondation propres au secteur. Enfin, une comparaison entre les scénarios d'accidents génériques proposés au chapitre 2 et les scénarios obtenus par cette validation a été effectuée.

3.1.1.1 Description du secteur de traitement de surface

i) Présentation générale de l'activité de traitement de surface

Le traitement de surface consiste à modifier, transformer la surface d'un matériau dans le but de lui conférer de nouvelles propriétés telles que, par exemples, résistance à la corrosion, à l'usure ou modification de l'aspect apparent. Le traitement de surface intervient principalement dans les secteurs de l'automobile, des télécommunications, de l'électronique, de l'aérospatiale, de la bijouterie et de la quincaillerie (Laforest, 1999).

Il peut intervenir soit dans une phase intermédiaire ou finale de l'élaboration du produit et peut être effectuée en ateliers intégrés à une unité de production ou en ateliers façonniers travaillant en sous-traitance (Laforest, 1999).

ii) Les différents traitements

Une trentaine de techniques de traitement de surface regroupée en cinq familles, constitue l'essentiel de l'activité (Laforest, 1999) :

- Les traitements par voie aqueuse (ex : dépôts électrolytiques ou galvanoplastie) et voie sèche (ex : dépôts physique en phase vapeur) ;
- Les traitements de conversion (ex : oxydation anodique) ;
- Les peintures ;
- Les traitements thermochimiques (traitements à haute température) ;
- Les traitements mécaniques (ex : grenaillage).

En France, à l'exclusion des peintures industrielles, le secteur compte 60000 salariés travaillant dans 4500 ateliers. Ces ateliers sont repartis en ateliers intégrés à une unité de production pour 70% d'entre eux, et en ateliers façonniers travaillant en sous-traitance (30%). Bien que les entreprises, majoritairement des PME, couvrent la totalité du territoire français, il n'en demeure pas moins que l'Ile de France et la région Rhône-Alpes se partagent un tiers des effectifs. En France, le chiffre d'affaire global du marché des traitements et revêtements des métaux était estimé en 2007 à 2 milliards d'euros dont 80% dans des ateliers intégrés et 20% chez les façonniers (Raymond, 2009).

Les deux domaines qui sont particulièrement intéressants pour ce travail de recherche sont ceux du traitement par voie humide et ceux du traitement de conversion qui s'effectuent tous les deux en milieu aqueux et présentent ainsi les mêmes caractéristiques de production.

iii) Structure d'un atelier de traitement de surface

Une chaine de traitement de surface est composée d'une suite de cuves permettant d'apporter le traitement voulu (Figure 43). Les cuves correspondent à des bains de traitement et de rinçage. Les pièces subissent donc une succession de trempages dans les bains de traitement et les bains de rinçage afin de subir le traitement désiré. L'enchaînement nécessaire au traitement complet de la pièce constitue une gamme de production (Laforest, 1999).

La modification de surface se fait par l'introduction de substances chimiques. Une chaine est composée de cuves de traitement et de rinçage (tableau 23).

Le passage d'un bain à un autre s'effectue à l'aide de différents systèmes de manipulation (Laforest, 1999):

- Le cadre, support sur lequel les pièces sont suspendues. Il est surtout utilisé pour les pièces volumineuses et/ou fragiles.
- Le tonneau, récipient souvent octogonal fermé et mis en rotation. Il est surtout utilisé pour les pièces de petite ou de moyenne taille supportant les frottements dus aux brassages.
- Le panier, récipient clos qui passe d'un bain à un autre sans rotation. Il est utilisé pour des pièces de petite ou de moyenne taille supportant les frottements (mouvement possible).

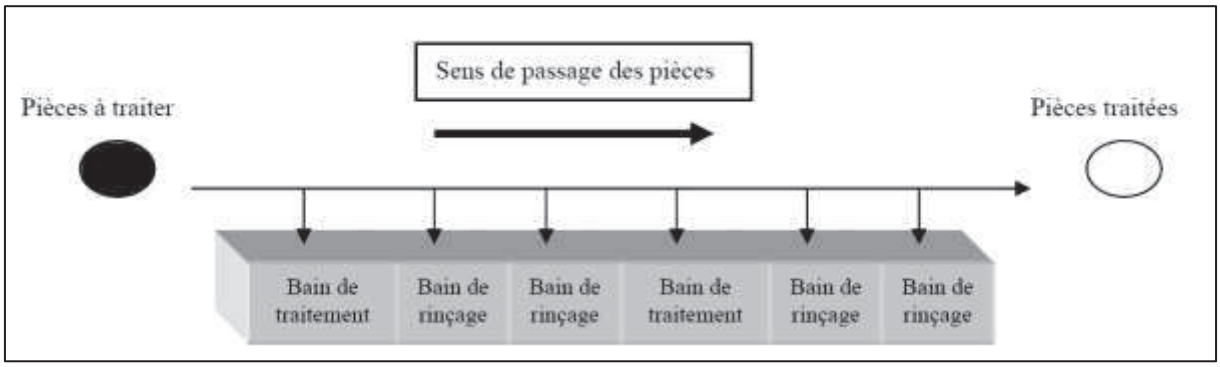


Figure 43 : Structure générale d'une chaîne de traitement de surface par voie aqueuse (Laforest, 1999).

Tableau 23 : Récapitulatif des différents bains de traitement (Laforest, 1999).

Classes de traitement	Types de traitement	Propriétés - Descriptions
Prétraitements et intertraitements (comprennent toutes les activités d'enlèvements chimiques, électrochimiques ou mécaniques de la matière)	**Dégraissage**	• permet de nettoyer la pièce de toutes traces de graisse ou d'huile afin de la préparer au revêtement suivant • agit à l'aide de solvants organiques ou aqueux • dégraissage électrolytique, chimique ou par ultrasons
	Décapage	• agit par dissolution chimique de la surface de la pièce métallique • agit à l'aide d'acides chlorhydrique, sulfurique, nitrique, phosphorique ou fluorhydrique
	Démetallisation	• permet d'éliminer la couche superficielle de métal sur la pièce • traitement chimique ou électrolytique
	Neutralisation	• permet de stopper la réaction chimique après traitement • s'effectue en milieu acide ou basique
Revêtements de surface	**Argenture, dorure, cadmiage, chromage, etc.**	• revêtements chimiques par utilisation de solutions métalliques acides ou basiques • revêtements électrolytiques par réactions de réduction d'un cation métallique $M^{z+} + z\,e^- \longrightarrow M.$
Traitement de conversion	**Anodisation, phosphatation, cémentation, nitruration, etc.**	• agit sur la modification physico-chimique de la couche superficielle de la pièce • traitements électrolytique, chimique, thermochimique ou thermique

Ces systèmes sont manipulés soit manuellement, soit à l'aide de portants guidés automatiquement qui descendent et remontent les pièces des bains puis les font passer d'un bain à un autre. Lorsqu'ils ne sont pas utilisés, ces outillages sont stockés soit à proximité des cuves soit dans les ateliers de maintenance.

Les entreprises de traitement de surface ne sont pas uniquement constituées de chaines de traitement (bains de traitements et bains de rinçage). Elles contiennent également des installations (figure 44) :

- De préparation des pièces (montages,…) ;
- D'épuration des effluents (station d'épuration) ;
- De dépotage de produits chimiques ;
- De réception et d'expédition des pièces traitées ou à traiter, des produits chimiques, des déchets solides, des déchets liquides… ;
- Des aires de stockage de produits chimiques, des déchets, des pièces… ;
- Des bureaux ;
- Des ateliers de maintenance.

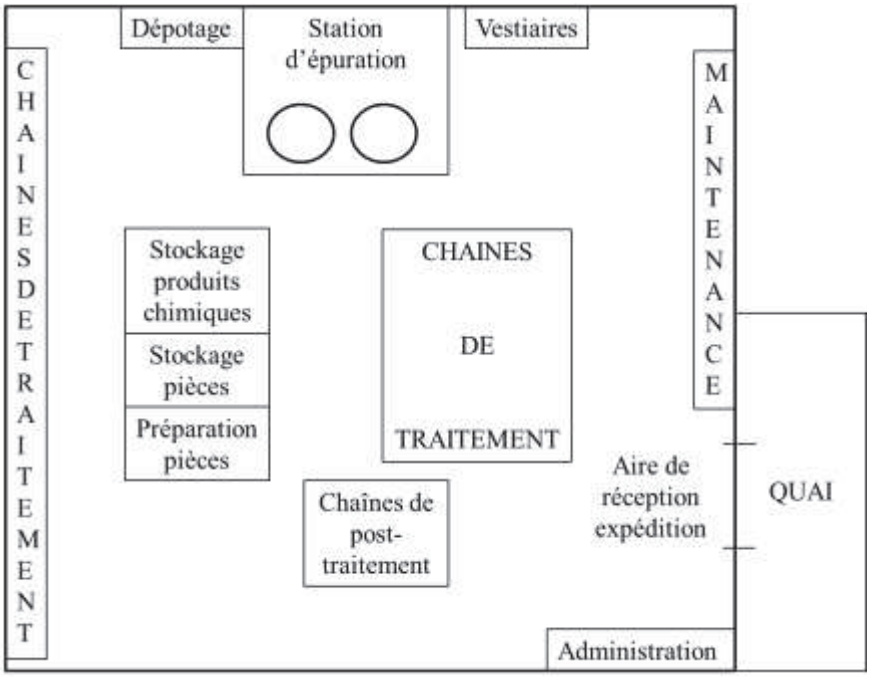


Figure 44 : Schéma simplifié fonctionnelle d'une usine type de traitement de surface (Gardes, 2001).

Le flux de production type dans un atelier de traitement de surface est illustré dans la figure 45.

iv) Problématique vis-à-vis des phénomènes Natech

La plupart des réactifs utilisés dans les ateliers de traitement de surface sont polluants pour l'environnement et toxiques pour l'homme. Les rejets dans l'environnement se font sous les trois états: liquides (ex : bains et rinçages), vapeurs (émanations provenant des bains chauds et des procédés par aspersion) et solides (ex : boues sortant des installations d'épuration des effluents liquides) (INRS, 1998).

Les principales matières en cause des pollutions des eaux superficielles et entraînantes d'une mortalité de la faune aquatique sont : les cyanures, le chrome, les acides et les bases (ARIA, consulté le 02 Décembre 2010).

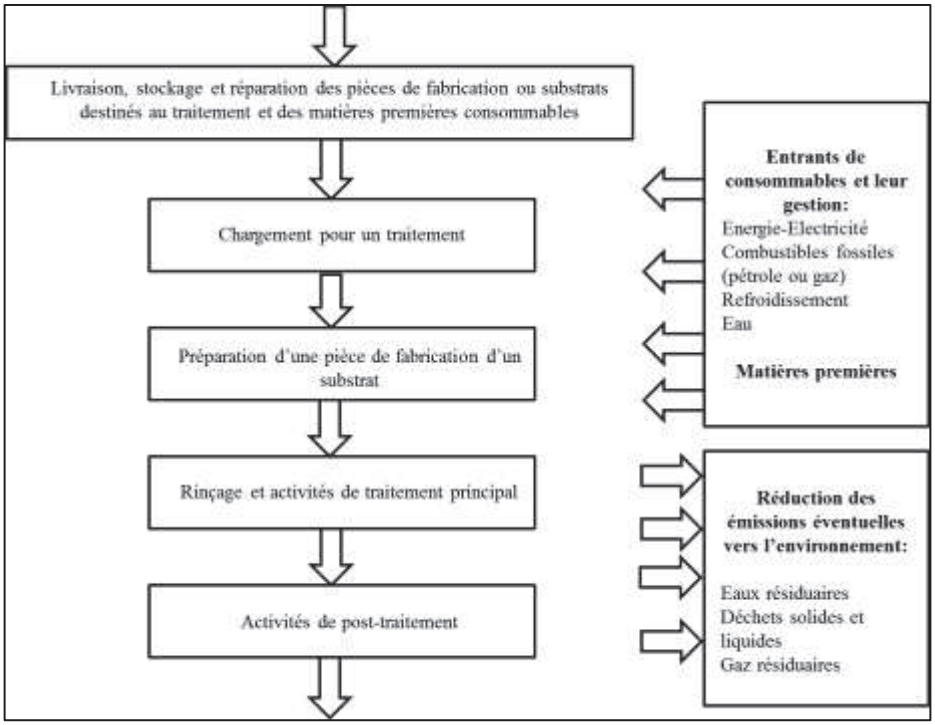

Livraison, stockage et réparation des pièces de fabrication ou substrats destinés au traitement et des matières premières consommables
Chargement pour un traitement
Préparation d'une pièce de fabrication d'un substrat
Rinçage et activités de traitement principal
Activités de post-traitement
Entrants de consommables et leur gestion:
Energie-Electricité
Combustibles fossiles (pétrole ou gaz)
Refroidissement
Eau
Matières premières
Réduction des émissions éventuelles vers l'environnement:
Eaux résiduaires
Déchets solides et liquides
Gaz résiduaires

Figure 45 : Trajet commun aux pièces de fabrication et aux substrats dans un atelier de traitement de surface (Commission EU, 2005).

Les ateliers de traitements sont donc assez vulnérables au risque Natech inondation car il s'agit souvent de petites structures (PME) qui néanmoins peuvent concentrer des quantités importantes de substances chimiques dangereuses ce qui leur vaut un classement ICPE. De plus, ces entreprises consommant et donc rejetant des quantités importantes d'eau sont généralement situées non loin d'un réseau hydrographique (tableau 24), augmentant ainsi le degré d'exposition au risque inondation.

Tableau 24 : Pourcentage des Installations classées, ayant une activité principale de « Mécanique et le traitement de surface » et « Mécanique, électrique, traitement de surface », situées en zone inondable dans la région Rhône-Alpes (Source : base des installations classées- site : http://www.installationsclassees.developpement-durable.gouv.fr).

Nombre d'établissements classés ICPE (Activité principale : Mécanique et traitement de surface)	Nombre d'établissements classés ICPE (Activité principale : Mécanique, électrique et traitement de surface)	Nombre de ces établissements situés en zone inondable	Pourcentage de ces établissements situés en zone inondable
12	42	24	44,4%

3.1.1.2 Validation des scénarios (figure 18 page 82 - Schéma général de la méthodologie suivie)

i) Modélisation structuro-fonctionnelle

L'avantage de la modalisation stucturo-fonctionnelle par rapport à la modélisation conceptuelle est qu'elle permet de représenter les composantes d'une installation industrielle d'une manière plus détaillée permettant ainsi d'effectuer un travail d'analyse (tel que l'analyse des risques) plus complet, rigoureux et exhaustif (Flaus, 2008).

Dans le cadre de ce travail de recherche, l'analyse structuro-fonctionnelle permet :

- d'identifier l'ensemble des composantes industrielles d'un atelier de traitement de surface,
- d'identifier les sources de danger potentielles suite à l'impact par les eaux d'inondation,
- de voir par rapport à chaque fonction les impacts de la défaillance d'un composant sur les autres d'une même fonction et ceux d'une fonction différente, ce qui permet d'élaborer des scénarios d'accidents courts par analyse MADS.

Ainsi, des modèles de plus en plus détaillés du système peuvent être crées en mettant en œuvre une décomposition structurelle séquentielle qui segmente le système en des composantes moins abstraites. Ces composants peuvent ensuite être analysés séparément, tout en maintenant le modèle global du système étudié. Cette approche permet d'augmenter le niveau de profondeur de l'analyse, tout en faisant des économies dans le temps d'analyse (Karagiannis, 2010).

Ce type de modélisation a été choisie car elle a souvent été utilisée dans la conception et l'analyse de systèmes complexes comme les industries. De plus, elle est utile pour l'analyse de risques (Piatyszek et Karagiannis, 2012) car elle permet de formaliser la représentation du système à analyser.

Dans le cadre de cette étude, c'est la méthode SADT qui a été sélectionnée pour la modélisation.

ii) Méthode SADT

SADT signifie « Structured Analysis and DesignTechnique ». Il s'agit d'une méthode proposée en 1977 par Doug Ross et permettant une analyse structurée des systèmes. Cette méthode fut utilisée pour la modélisation de systèmes logiciels, puis fut standardisée et rendue publique sous le nom d'IDEF0 (Vernadat, 2010). Elle adopte une approche systémique au sens où tout système complexe est une structure composée de systèmes plus simples en interaction.

Le modèle est basé sur des concepts de (figure 46):

- boîtes d'activités représentées par des rectangles portant la fonction globale (l'activité à effectuer) et les boîtes de données portant sur les données utilisées (la donnée à analyser). Chaque boîte doit être accompagnée d'un numéro afin d'identifier sa position dans la représentation globale du système ;
- d'entrées/sorties (flèches). Une flèche est identifiée par un nom (ou une phrase nominale) et un symbole (une lettre I, O, C ou M avec un numéro d'identification). La flèche de gauche représente les données d'entrée, ce qui est à transformer (I=Input). La flèche du dessus représente les données de contrôle, données utilisées par l'activité mais non modifiées (C=Control). La flèche de droite représente les données de sortie, ce qui a été

produit ou transformé (O=Output). La flèche du dessous représente les mécanismes du support de l'activité, les ressources nécessaires à l'activité (M=Mechanism). Les entrées doivent être suffisantes pour produire les sorties avec l'aide des données de contrôle et des ressources disponibles (supports) (Vernadat, 2010).

La méthode part d'une approche descendante de décomposition des activités du système (Figure 47). Le premier niveau du modèle est assez abstrait : la boîte-mère. Il s'agit d'une description générale du système à étudier. La décomposition en sous-fonctions de cette boîte-mère permet d'affiner la perception du système et de sa structure. Le nombre de niveaux de décomposition dépend du système et de l'objectif visé. La décomposition s'arrête lorsque le niveau de détail atteint est jugé suffisant pour l'application (Vernadat, 2010).

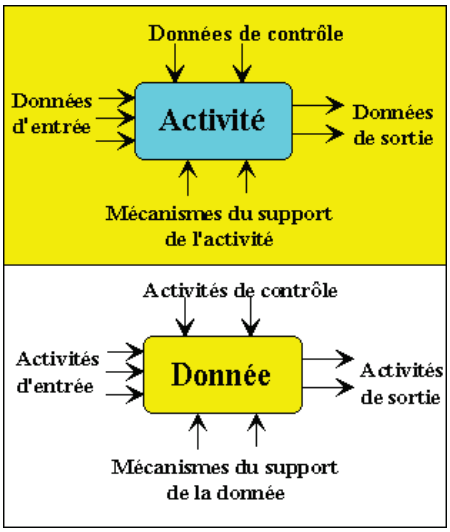


Figure 46 : Actigramme et Datagramme, (Vernadat, 2010).

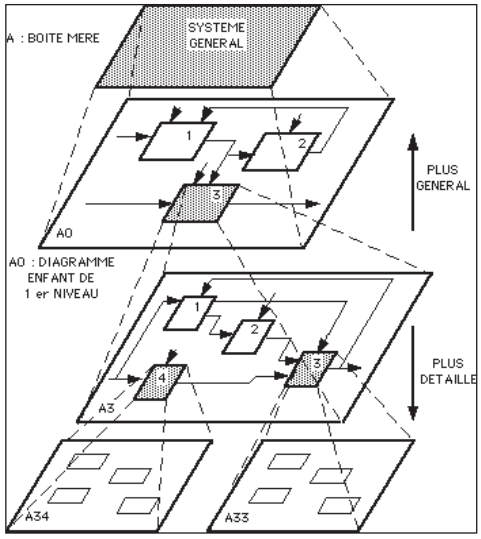


Figure 47 : Représentation globale du système (Vernadat, 1999).

iii) Modélisation partielle structuro-fonctionnelle SADT d'un atelier de traitement de surface : Base pour l'analyse de risques MADS (Commission EU, 2005)(Lacourcelle, 1997) (GAIDA, 1995)

Les différentes étapes d'une modélisation SADT ont été appliquées pour représenter les différentes fonctions d'un atelier de traitement de surface (figure 44 et 45) :

1) La représentation de A0 qui est le contexte de la modélisation, en utilisant une boîte d'activité (figure 46) ;
2) La décomposition fonctionnelle de A0 qui consiste en une identification des activités qui constitue A0 et l'indication des données d'entrée et de sortie correspondantes, en utilisant également une boîte d'activité pour chaque fonction (figure 47) ;
3) L'interaction entre les différentes boîtes constituantes de A0 pour obtenir un modèle complet ;
4) Enfin, la décomposition de chaque fonction en une série de boîtes activités. Il s'agit du passage aux différents sous-niveaux des niveaux constituant A0 (en reprenant les étapes 1 à 3 précédentes).

Ainsi A0, dénommé le contexte (figure 48), consiste en une seule boîte avec les données d'entrée et de sortie. En outre, il permet de montrer les relations avec le monde extérieur.

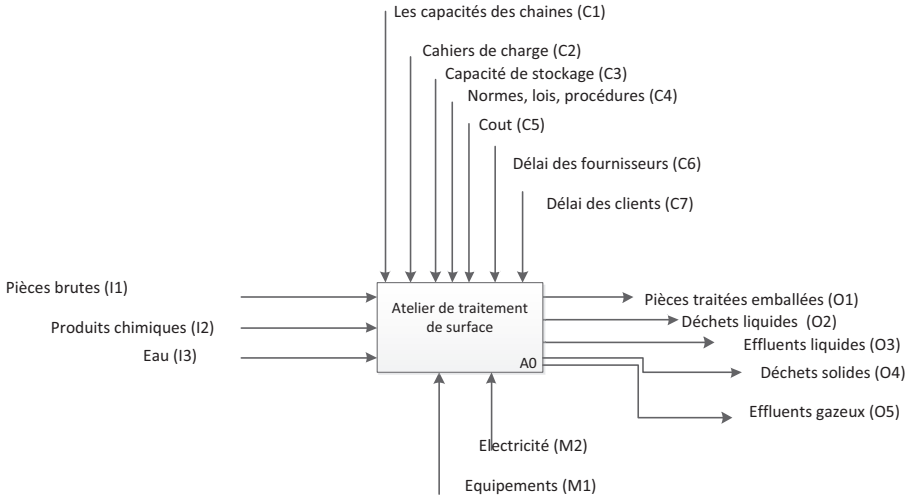


Figure 48 : A0 : le contexte de la modélisation structuro-fonctionnelle d'un atelier de traitement de surface.

A0 a été décomposée en plusieurs fonctions qui reprennent le schéma général de fonctionnement d'un atelier de traitement de surface (représenté le plus souvent par un organigramme hiérarchique linéaire fonctionnel (figure 45)). Cette décomposition va permettre d'identifier les organes les plus sensibles aux aléas naturels : Les opérations de production (fabrication), l'approvisionnement représenté par les stocks et les stations d'épuration.

Les fonctions A-1 et A+1 servent à représenter les moyens de livraison des matières premières et des produits finis au niveau de l'atelier. Elles ont été présentées afin de comprendre l'arrivée des matières premières et le devenir des produits finis et des déchets issus de l'atelier de traitement de surface ; sachant que ces fonctions ne sont pas prises en compte dans l'analyse de risques MADS ne présentant pas de sources de danger considérables en cas d'inondation de l'entreprise.

Dans un troisième temps, chaque fonction est elle-même décomposée en une série de boîtes d'activité présentées dans le tableau 25.

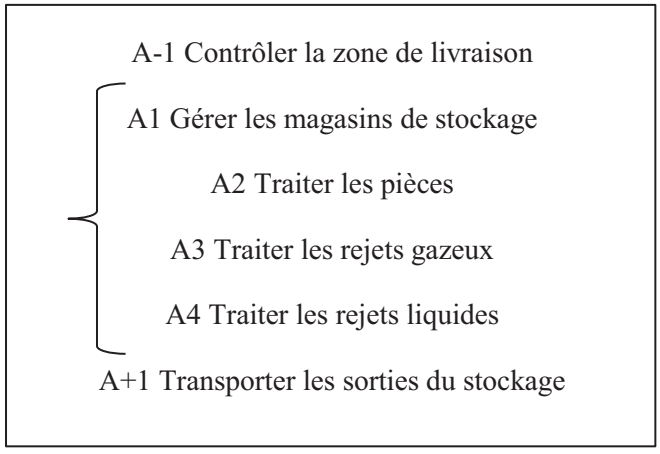

A-1 Contrôler la zone de livraison
A1 Gérer les magasins de stockage
A2 Traiter les pièces
A3 Traiter les rejets gazeux
A4 Traiter les rejets liquides
A+1 Transporter les sorties du stockage

Tableau 25 : Composition des boîtes d'activités élaborées dans le cadre de la modélisation SADT.

A0 Le procédé de traitement de surface
A-1 Contrôler la zone de livraison
A1 Gérer les magasins de stockage
A11 Stocker les produits livrés
A111 Stocker les produits chimiques
A12 Stocker les produits à expédier
A121 Stocker les déchets solides
A122 Stocker les déchets liquides
A2 Traiter la surface des pièces
A21 Charger les pièces brutes
A22 Immerger les pièces dans les bains de traitement
A23 Rincer les pièces
A24 Décharger et emballer les pièces traitées
A3 Traiter les rejets gazeux
A4 Traiter les rejets liquides
A41 Déchromater
A42 Décyanurer
A43 Traiter les nitrites
A44 Mise à pH et insolubiliser
A45 Coaguler/Floculer
A46 Décanter
A47 Filtrer
A+1 Transporter les sorties du stockage

La figure 49 présente un extrait de la décomposition hiérarchique obtenu avec l'outil SADT.

Cette modélisation SADT permet d'identifier précisément quels sont les équipements industriels pouvant constituer des sources de danger potentielles dans un atelier de traitement de surface inondé. La modélisation SADT servira donc de support pour l'analyse MADS, postérieure à l'identification des sources de danger. Cette analyse permettra, à son tour, de comprendre comment ces sources se comportent face au risque inondation (recherche des causes et des conséquences des défaillances des équipements).

iv) Analyse de risques

Identification des sources de danger : équipements critiques dans le secteur du traitement de surface

Nous rappelons que les équipements considérés comme critiques sont ceux pris en compte dans la classification ICPE.

Or, dans le domaine du traitement de surface (par voie humide), le classement ICPE s'effectue par (CETIM, 2009):

- Un classement de l'activité traitement et revêtement de surface : les procédés de traitement sont concernés par la rubrique N°2565 de la nomenclature ICPE ;

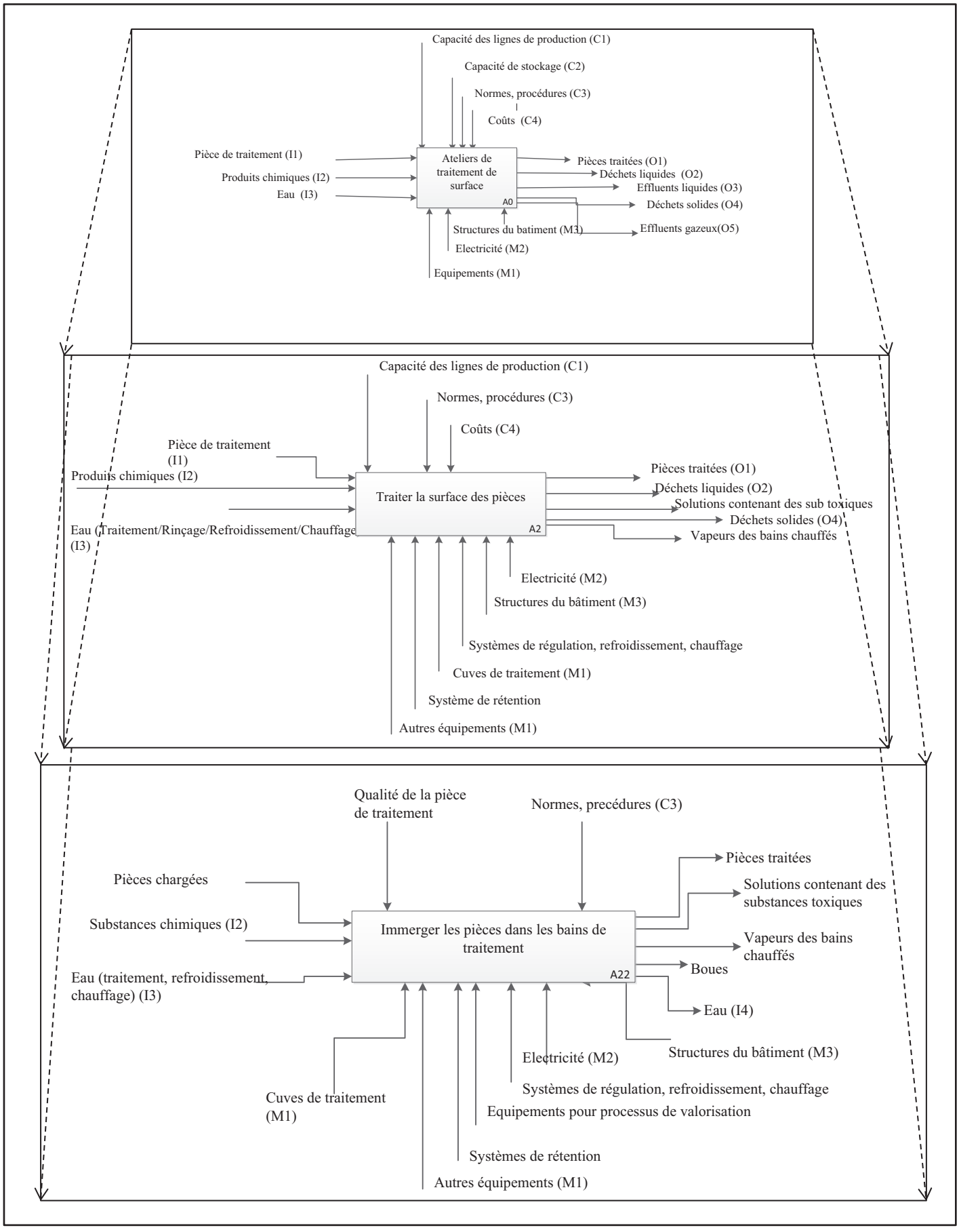


Figure 49 : Extrait de la modélisation SADT d'un atelier de traitement de surface.

- Un classement des substances et préparations (bains de traitement) : Les procédés nécessitent la manipulation et la mise en œuvre de produits chimiques qui peuvent être concernés par des rubriques de la nomenclature ICPE. Les substances concernées sont les produits chimiques stockés et les bains de traitements utilisés.

Il est alors possible de déduire que les équipements considérés critiques, parmi l'ensemble des équipements industriels identifiés dans la modélisation SADT, sont : les réservoirs de stockage, les réservoirs de stockage intermédiaires, les cuves de traitement (prétraitement et traitement) concernés par les rubriques de la nomenclature ICPE, ainsi que les canalisations qui leur sont reliées.

Donc l'ensemble des équipements critiques identifiés dans le secteur d'activité de traitement de surface appartiennent à la typologie des équipements critiques généraux présentés dans le chapitre 2.

Application de la méthode MADS

A la suite de l'identification des équipements potentiellement critiques dans le secteur du traitement de surface, une analyse de risques MADS a été effectuée. Pour chaque élément des boîtes d'activités de la modélisation SADT, il s'agit d'identifier les sources de danger potentiels suite à l'inondation d'un atelier de traitement de surface et ceci en utilisant la typologie de systèmes sources de danger en milieu industriel dans le cas des accidents Natech inondation développée dans le chapitre 2 (annexe 4). Les résultats de cette analyse systémique ont été présentés dans un tableau A suivant la même trame de celui bâti lors du développement de la méthodologie dans le chapitre 2 et contenant les différents éléments du modèle MADS. Un extrait de ce tableau est présenté dans le tableau 26.

Développement des nœuds papillons spécifiques au secteur d'activité de traitement de surface

L'analyse MADS a permis d'identifier l'ensemble des flux de danger (scénarios d'accidents courts) spécifiques à un atelier de traitement de surface inondé (tableau 26) puis de bâtir les nœuds papillons spécifiques au secteur de traitement de surface par l'intermédiaire de la technique des boîtes noires.

Pour illustration et pour ne pas alourdir le manuscrit, seul l'arbre de défaillance et l'arbre d'évènement constituant le nœud papillon « Brèche du contenant de la cuve de traitement », équipement critique identifié dans le traitement de surface sont présentés respectivement sur les figures 50 et 51.

Cet arbre de défaillance (figure 50) reprend l'essentiel des branches de l'arbre de défaillances générique correspondant à l'évènement critique « Brèche du contenant » présenté dans le chapitre 2. En effet, nous remarquons que cet arbre de défaillances est inclut dans l'arbre de défaillances générique : Les branches éliminées correspondent à « la défaillance des systèmes de contrôle de la température » et « les systèmes de chauffage et de refroidissement ». En effet, le paramètre température est contrôlé dans le secteur du traitement de surface pour des raisons de qualité des pièces. Une défaillance de ces systèmes ne peut pas entraîner des réactions d'emballement ou des réactions secondaires susceptibles de provoquer l'endommagement de l'équipement critique. **Nous pouvons ainsi valider la complétude des arbres de défaillances génériques Natech inondation pour le secteur d'activité de traitement de surface.**

Tableau 26 : Extrait du tableau A correspondant à la source de danger « Equipement critique : cuve de traitement ».

Système source de danger	Evènements initiateurs		Evènements initiaux (ENS sources)		Evènements principaux (flux)	ENS cibles
	Externes	Internes	Liés au contenant	Liés au contenu		
A22						
Pièces brutes chargées/pièces traitées	choc (eau et débris)	choc (éléments de l'atelier)	renversement des tonneaux et des supports	renversement des pièces brutes chargées	Emportement des tonneaux et des supports	choc
		onde de pression	renversement des tonneaux et des supports stockés		Emportement des pièces	choc
Bidons de produits chimiques	choc (eau et débris)	choc (éléments de l'atelier)	Renversement du bidon		emportement du bidon	choc
		onde de pression	Rupture		fuite de produits chimiques	diffusion des produits chimiques dans les eaux
		onde thermique	Déformation des parois du bidon		fuite de produits chimiques	diffusion des produits chimiques dans les eaux
		diffusion de produits chimiques dans les eaux		formation d'un mélange avec les produits chimiques diffusés incompatibles	explosion	onde de pression
					formation de gaz toxiques	diffusion de gaz toxiques
Canalisations de produits chimiques/canalisation des solutions contenant des espèces toxiques	choc (eau et débris)	choc (éléments de l'atelier)	rupture des canalisations		emportement des canalisations	choc
		onde de pression			fuite de produits chimiques	diffusion des produits chimiques dans les eaux
		onde thermique			fuite de produits chimiques	diffusion des produits chimiques dans les eaux
		diffusion de produits chimiques dans les eaux		formation d'un mélange avec les produits chimiques diffusés incompatibles	explosion	onde de pression
					formation de gaz toxiques	diffusion de gaz toxiques

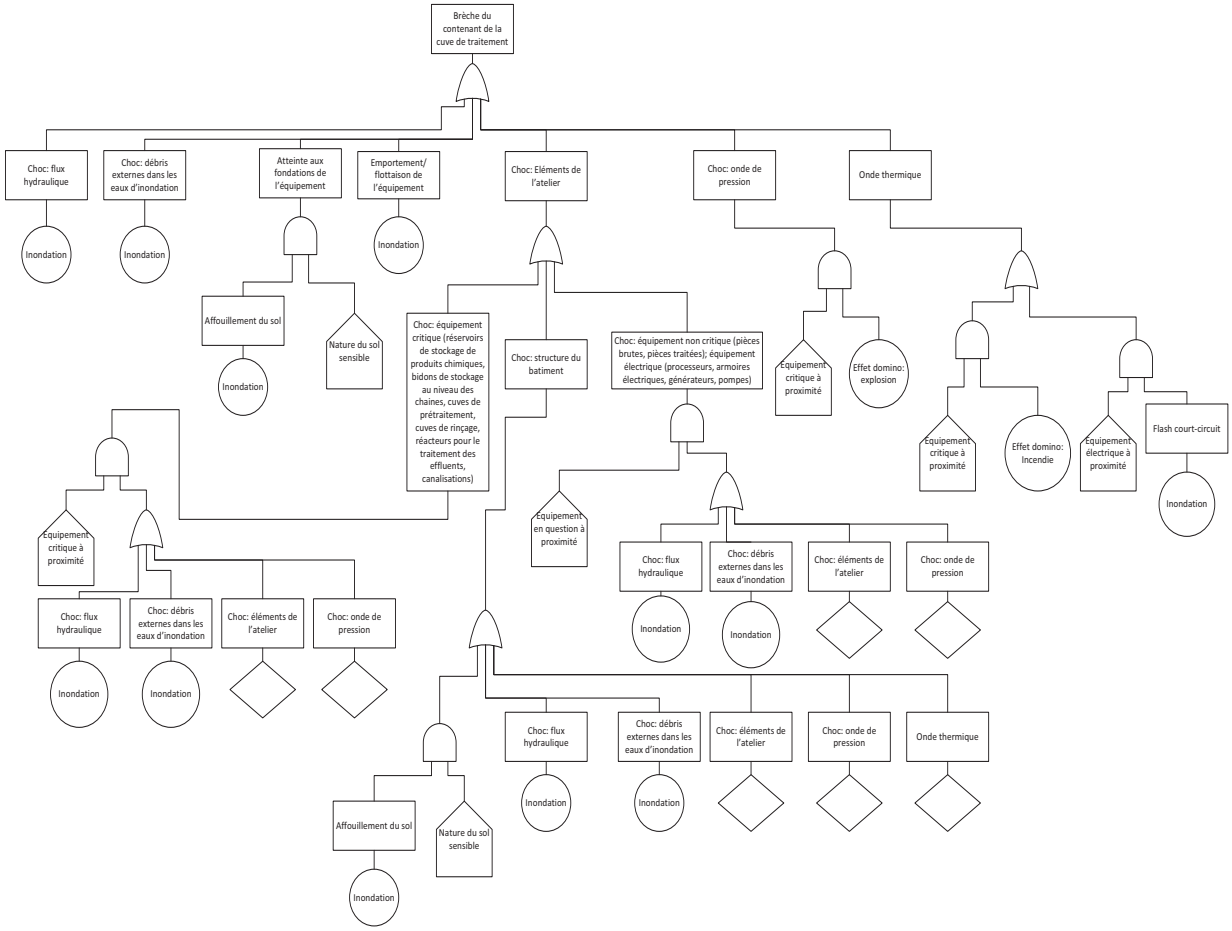

Brèche du contenant de la cuve de traitement
Choc: flux hydraulique
Choc: débris externes dans les eaux d'inondation
Atteinte aux fondations de l'équipement
Emportement/ flottaison de l'équipement
Choc: Eléments de l'atelier
Choc: onde de pression
Onde thermique
Inondation
Affouillement du sol
Nature du sol sensible
Choc: équipement critique (réservoirs de stockage de produits chimiques, bidons de stockage au niveau des chaines, cuves de prétraitement, cuves de rinçage, réacteurs pour le traitement des effluents, canalisations)
Choc: structure du batiment
Choc: équipement non critique (pièces brutes, pièces traitées); équipement électrique (processeurs, armoires électriques, générateurs, pompes)
Equipement critique à proximité
Effet domino: explosion
Effet domino: Incendie
Equipement électrique à proximité
Flash court-circuit
Equipement en question à proximité

Figure 50 : Arbre de défaillances correspondant à l'évènement critique « Brèche du contenant de la cuve de traitement » spécifique au secteur de traitement de surface.

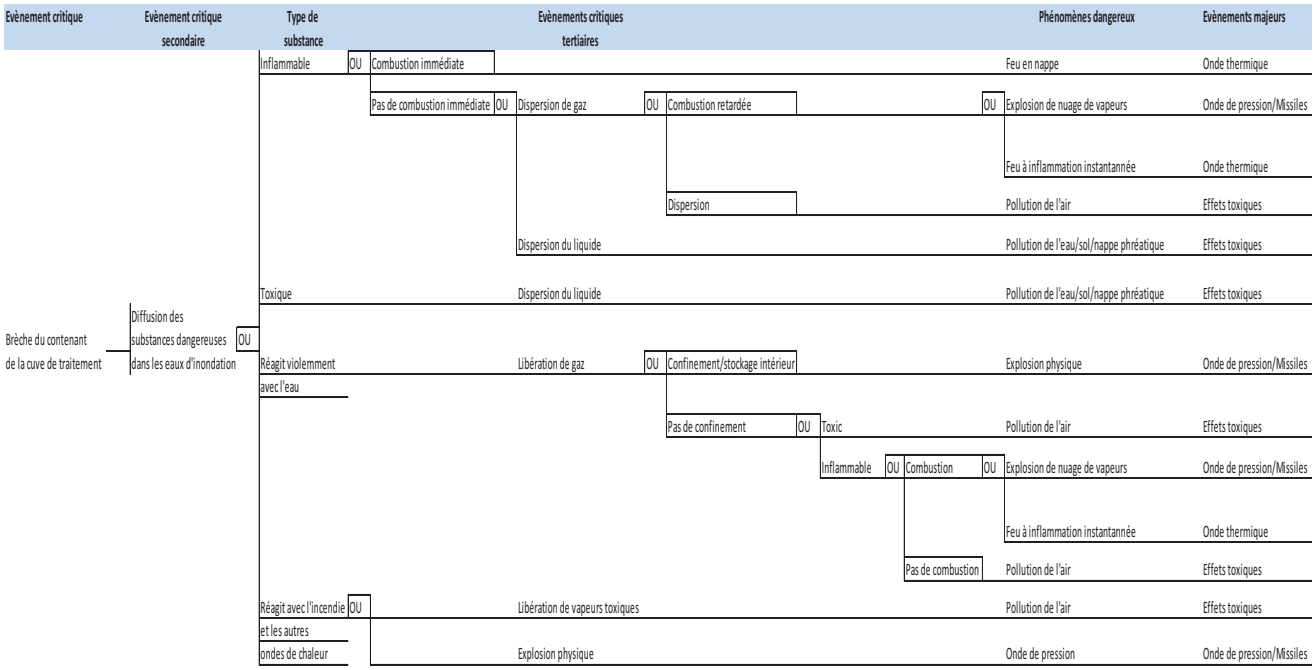


Figure 51 : Arbre d'évènements correspondant à l'évènement critique « Brèche du contenant de la cuve de traitement » spécifique au secteur de traitement de surface.

En ce qui concerne l'arbre d'évènements (figure 51), celui-ci est également identique à l'arbre générique :

- les branches correspondant aux substances toxiques et réagissant avec l'incendie et les autres ondes de chaleur caractérisent les substances manipulées dans la constitution des bains de traitements,
- les substances inflammables sont aujourd'hui interdites dans la constitution de la plupart des bains de traitement pour des raisons de prévention du risque d'incendie (risque industriel caractéristique de ce secteur d'activité). Mais elles sont toutefois utilisées dans certains bains tels que l'acide acétique, utilisé pour le procédé de passivation noire.
- Aucune substance réagissant violemment avec l'eau n'est manipulée dans les bains de traitement de surface par voie humide comme elles sont pour la plupart utilisées en mélange avec l'eau. Par contre, certaines de ces substances peuvent etre stockées dans l'atelier telles que la soude qui est utilisée dans les stations d'épuration.

Tous les arbres d'évènements Natech inondation du secteur de traitement de surface sont inclus dans les scénarios Natech inondation génériques proposés au chapitre 2.

Ainsi, les scénarios génériques sont validés (complétude) dans le secteur d'activité de traitement de surface. Néanmoins, afin d'asseoir la validation des scénarios génériques Natech inondation, il faudrait effectuer le même exercice dans d'autres secteurs d'activité. Cela permettra de valider la généricité des scénarios (complétude dans divers secteurs d'activités).

3.1.2 Validation spécifique des scénarios d'accidents auprès de deux installations industrielles situées en zone inondable

La validation spécifique des scénarios d'accidents à l'échelle d'installations industrielles va permettre également de tester la complétude et la plausibilité des scénarios génériques auprès d'industriels ayant vécu un ou plusieurs épisodes d'inondation (analyse de phénomènes passés) ou dont les entreprises sont situées en zone inondable.

Cette validation peut être menée a posteriori en s'appuyant sur des évènements passés subis par l'entreprise ou bien a priori, du fait que les industriels sont en mesure, de par leur expérience et connaissance de leur activité, de valider les scénarios.

3.1.2.1 Méthode suivie

Cette validation a été menée suivant la trame ci-dessous :

- Recherche d'entreprises adaptées (ICPE en zone inondable), notamment par consultation du site (http://www.installationsclassees.developpement-durable.gouv.fr/) et croisement avec une carte d'aléa inondation (par exemple cartorisque et PPRI- http://cartorisque.prim.net/ - http://www.loire.gouv.fr/les-plans-de-prevention-des-r188.html);
- Visite du site et collecte d'informations (plan du site industriel, extrait de PPRI, documents détaillant l'activité industrielle, les équipements industriels et les substances dangereuses employées, étude de danger, arrêté préfectoral d'autorisation d'exploitation, rapport ou photos d'inondations passées) et entretien à caractère générique (présentation des scénarios génériques et validation a priori per l'industriel) ;
- Analyse :
    - Identification des équipements critiques ;

- Si une ou des inondations ont eu lieu, analyse des dommages et des conséquences et vérification de leur prise en compte dans les arbres génériques (test de complétude) ;
- En utilisant les arbres génériques, recherche des scénarios potentiels d'accidents propres au site industriel en question (test de complétude pour le cas de l'entreprise en question et test de plausibilité) ;
- Discussion avec l'industriel sur la potentialité d'occurrence des scénarios génériques proposés (test de plausibilité) ;
- Analyse des MMR existantes ;

- Présentation et discussion de l'analyse avec l'industriel

3.1.2.2 Validation CIC (Chromage Industriel du Centre)

- Interlocuteur industriel : Chef de l'entreprise

i) Présentation de l'entreprise

L'entreprise CIC (Chromage Industriel du Centre) est une PME située à Saint Etienne. Elle a comme activité principale le revêtement de surface, plus particulièrement le chromage dur, le nickelage chimique et le nickelage-chromage, accompagné de travail mécanique des métaux et alliages (rectification cylindrique, usinage…) qui sert à la préparation des pièces.

Les locaux de l'entreprise s'étalent sur deux étages d'un seul bâtiment (figure 52).

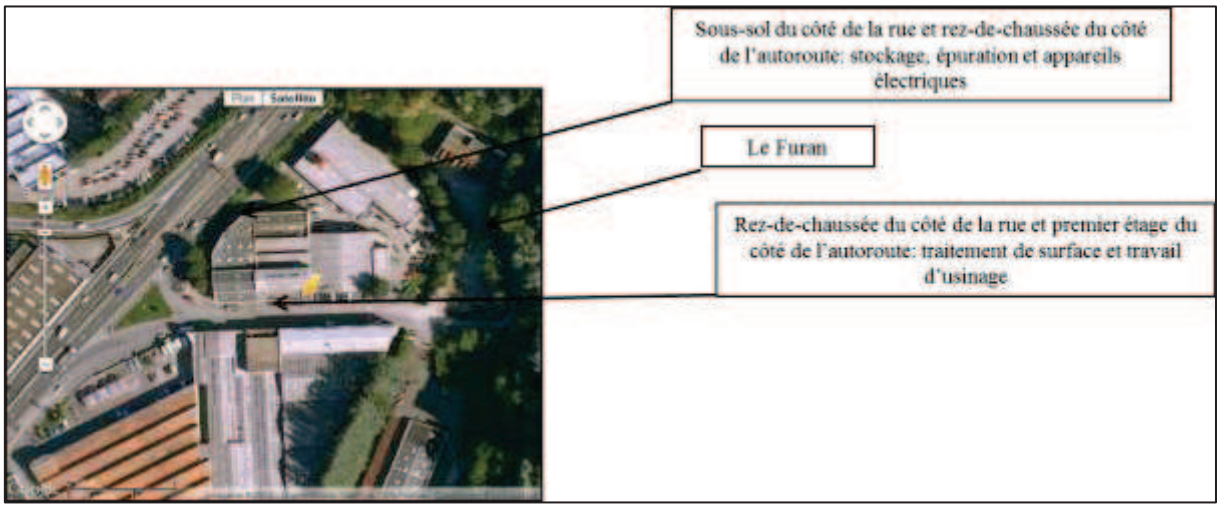

Sous-sol du côté de la rue et rez-de-chaussée du côté de l'autoroute: stockage, épuration et appareils électriques
Le Furan
Rez-de-chaussée du côté de la rue et premier étage du côté de l'autoroute: traitement de surface et travail d'usinage

Figure 52 : Image satellite de l'entreprise CIC (Source : Google Map).

La figure 53 présente les plans de masse des deux étages constituant le bâtiment de l'entreprise CIC.

L'entreprise CIC est située au bord du Furan, affluent de la Loire. Le Furan est une rivière caractérisée par des crues de type torrentielles (extrait du document du PPRI du bassin du Furan).

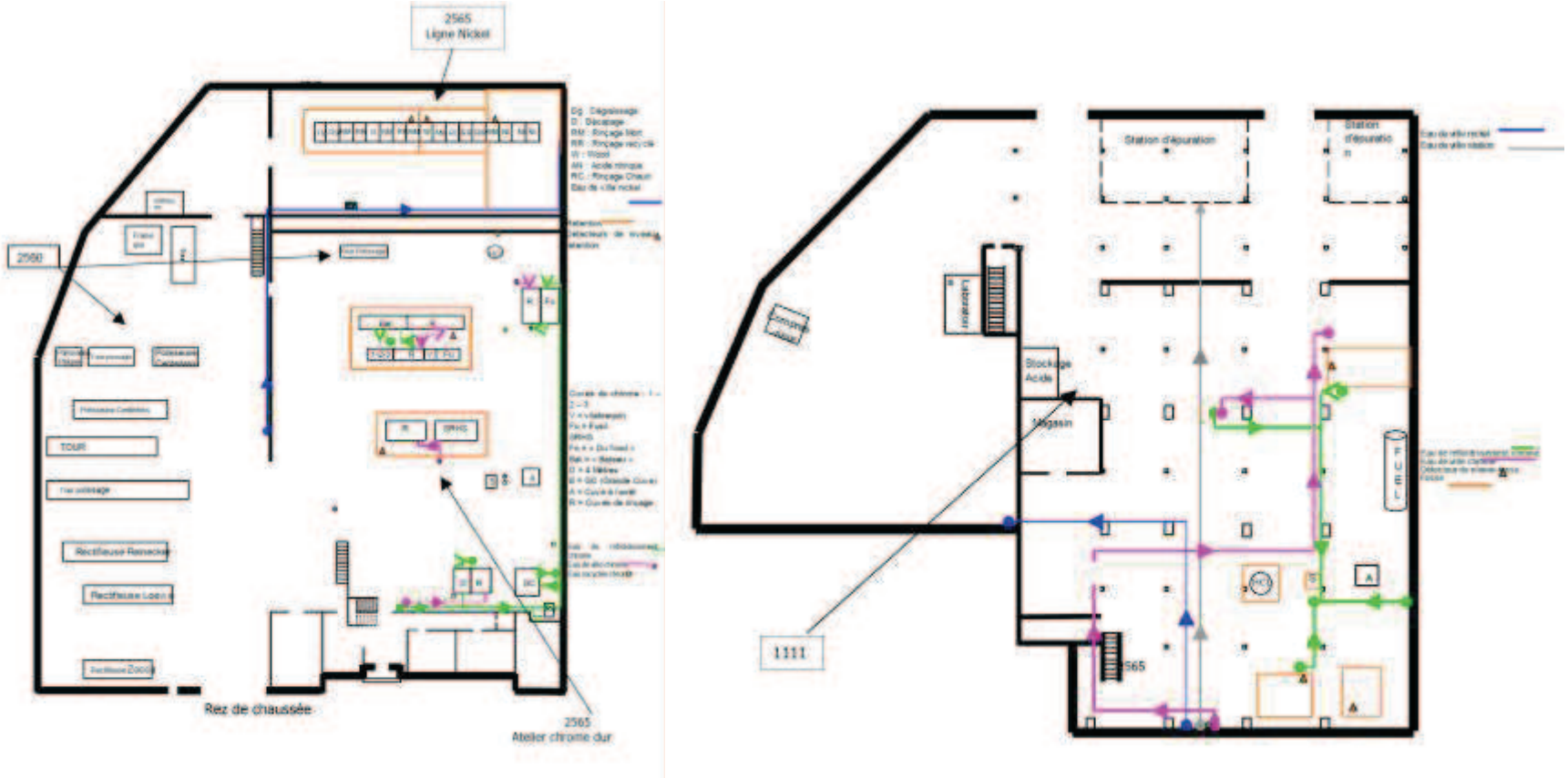
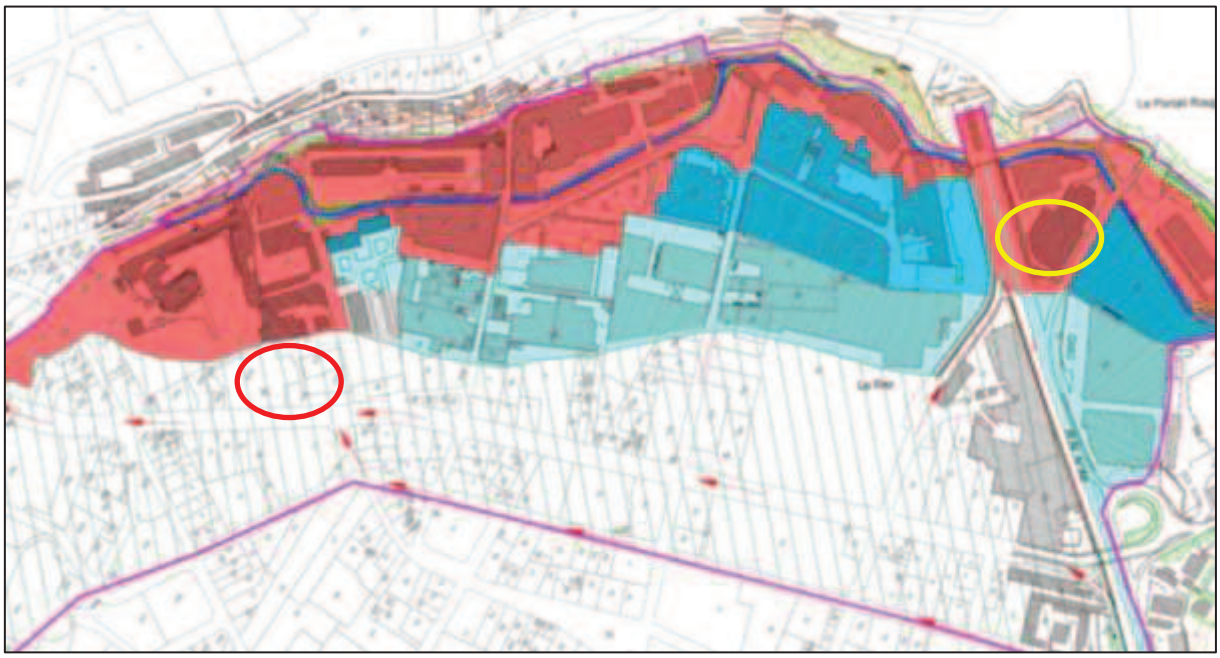


Figure 53 : A gauche, installations situées en rez-de-chaussée de l'entreprise ; A droite, installations situées en sous-sol de l'entreprise (Source : Arrêté de prescriptions complémentaires n°2009/0363 http://www.installationsclassees.developpement-durable.gouv.fr).



Légende

- Zone rouge : zone très exposée où les inondations sont redoutables en raison notamment des hauteurs de submersion et de la vitesse du courant ;
- Zone verte : La zone verte est non urbanisée et participe au stockage des eaux en limitant les effets en amont et en aval ;
- Zone bleu foncé : Zone urbanisée soumise à des aléas importants, sur laquelle le développement de l'urbanisation est à proscrire ;
- Zone bleu claire : Zone urbanisée soumise à des aléas limités sur laquelle de nouvelles implantations peuvent être admises sous certaines conditions ;
- Zone blanche : La zone blanche est une zone dite "zone de précaution", qui n'est pas directement exposées aux risques pour la crue de référence, mais où des constructions pourraient aggraver des risques ou en provoquer de nouveaux si une crue d'intensité supérieure venait à se produire.
- Zone hachurée : Zone urbanisée, elle pourrait être touchée de manière plus ou moins importante en cas de crue après débordement du Furan et du Furet au niveau de l'entonnement de leur partie couverte.

Figure 54 : Extrait du PPRI du bassin du Furan et positionnement des entreprises CIC (en jaune) et STEM (en rouge).

En se basant sur le PPRI (figure 54), nous remarquons que CIC est située en zone inondable rouge. En effet, l'entreprise peut être touchée par la crue trentennale et la crue centennale pour une hauteur de submersion maximale en crue centennale allant de 0,5 à 1m. La vitesse d'écoulement des eaux d'inondation est élevée, caractéristique des crues torrentielles.

Malgré les inondations récentes du Furan (2003, 2007 et 2008), l'entreprise CIC a été épargnée. Ainsi, depuis l'installation de l'entreprise, aucune inondation n'a été observée. Donc, l'étape de validation des scénarios par l'analyse de REX ne peut pas être effectuée pour le cas de cette entreprise.

ii) Identification des équipements critiques présents sur le site :

Afin de répondre aux besoins de production, différents équipements industriels sont utilisés et divers substances dangereuses stockées.

L'entreprise CIC est, en effet, classé ICPE non Seveso. Les équipements industriels pris en compte pour le classement sont présentés dans le tableau 27.

Tableau 27 : Installations classées au sein de l'établissement CIC (Source : Arrêté préfectoral d'autorisation d'exploitation de l'entreprise CIC).

Rubri. IC	Etat d'activité	Rég.	Activité	Volume	Unité
1111	En fonct.	A	Très toxiques (emploi ou stockage)	3	t
2560	En fonct.	D	Métaux et alliages (travail mécanique des)	130	kW
2565	En fonct.	A	Métaux et matières plastiques (Traitemen des)	65850	l

Dans l'entreprise CIC, les équipements pris en compte dans la classification et correspondant à la typologie des équipements critiques considérés dans ce travail de recherche sont présentés dans le tableau 28.

Tableau 28 : Equipements industriels de l'entreprise CIC considérés comme critiques.

Equipements- Substances	Localisation-Fonction
10 cuves de traitement allant de 200 à 20 000 litres pour un volume totale jusqu'à 45 250 litres Principale substance : CrO_3 en milieu acide	Chromage dur- 1er étage
3 cuves de nickelage de 8 700 litres Principale substance : Sels de nickel en milieu acide	Nickelage chimique- 1er étage
Bidons métalliques hermétiques de trioxyde de chrome de 25 à 50 kg pour une quantité maximale de stockage de 3 tonnes Substance : Trioxyde de chrome solide	Stockage de trioxyde de chrome- Rez-de-chaussée
Réservoirs de stockage de NaOH et HCl de 3 600 litres	Station d'épuration (déchromatation) - Rez-de-chaussée

Il ne faut pas oublier de mentionner également les canalisations transportant les solutions des bains de traitement de la ligne de chromage à la station d'épuration (l'ajustement avec les substances stockées se fait manuellement).

Enfin, l'entreprise contient également des équipements électriques situés au 1er étage (redresseurs accompagnant les lignes de traitement et équipements électriques pour travaux mécaniques) et en rez-de-chaussée (redresseurs).

iii) Scénarios d'accidents potentiels pour le site spécifique

Ces scénarios d'accidents potentiels ont été extraits des scénarios génériques. Le but étant de tester la complétude des scénarios d'accidents proposés quant aux accidents qui auraient pu se passer.

En ce qui concerne les arbres de défaillances (figure 55 en présente un exemple), pour le cas de l'entreprise CIC, l'ensemble des accidents potentiels sont pris en compte dans les arbres de défaillances génériques. Par contre, les branches relatives aux chocs dus aux structures du bâtiment ne sont pas appliquées pour le cas de CIC : les structures du bâtiment étant solides et aucune destruction de bâtiment n'a été observée lors d'inondations historiques récentes du Furan.

Pour ne pas alourdir le document, uniquement l'arbre de défaillance correspondant à l'équipement critique « cuve de traitement CrO_3 » et son évènement critique correspondant « Brèche du contenant » est présenté (figure 55).

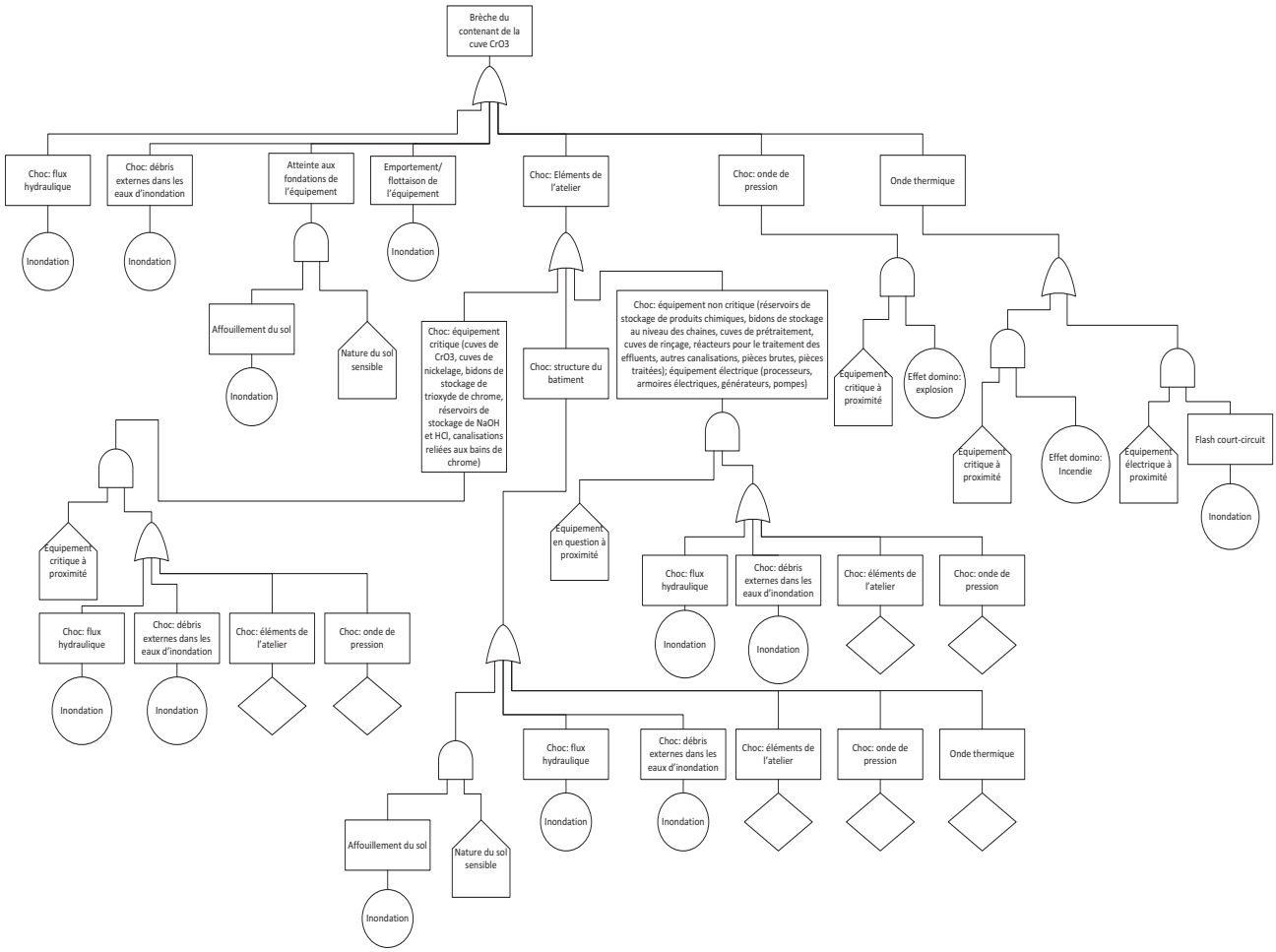

Brèche du contenant de la cuve CrO3
Choc: flux hydraulique
Choc: débris externes dans les eaux d'inondation
Atteinte aux fondations de l'équipement
Emportement/ flottaison de l'équipement
Choc: Eléments de l'atelier
Choc: onde de pression
Onde thermique
Inondation
Inondation
Affouillement du sol
Nature du sol sensible
Inondation
Inondation
Choc: équipement critique (cuves de CrO3, cuves de nickelage, bidons de stockage de trioxyde de chrome, réservoirs de stockage de NaOH et HCl, canalisations reliées aux bains de chrome)
Choc: structure du batiment
Choc: équipement non critique (réservoirs de stockage de produits chimiques, bidons de stockage au niveau des chaines, cuves de prétraitement, cuves de rinçage, réacteurs pour le traitement des effluents, autres canalisations, pièces brutes, pièces traitées); équipement électrique (processeurs, armoires électriques, générateurs, pompes)
Equipement critique à proximité
Effet domino: explosion
Equipement critique à proximité
Effet domino: Incendie
Equipement électrique à proximité
Flash court-circuit
Inondation
Equipement critique à proximité
Choc: flux hydraulique
Choc: débris externes dans les eaux d'inondation
Choc: éléments de l'atelier
Choc: onde de pression
Inondation
Inondation
Inondation
Inondation
Equipement en question à proximité
Choc: flux hydraulique
Choc: débris externes dans les eaux d'inondation
Choc: éléments de l'atelier
Choc: onde de pression
Inondation
Inondation
Choc: flux hydraulique
Choc: débris externes dans les eaux d'inondation
Choc: éléments de l'atelier
Choc: onde de pression
Onde thermique
Affouillement du sol
Nature du sol sensible
Inondation
Inondation
Inondation

Figure 55 : Arbre de défaillances correspondant à l'évènement critique « Brèche du contenant » de l'équipement critique « Cuve de traitement CrO_3 » de l'entreprise CIC.

L'arbre d'évènements spécifique à l'entreprise CIC est présenté dans la figure 56. Les branches qui sont conservées correspondent aux groupes de danger des substances dangereuses retrouvées dans l'entreprise CIC :

- Le trioxyde de chrome, groupe de danger correspondant : très toxique et dangereux pour l'environnement ;
- Le nickel, groupe de danger correspondant : toxique,
- La soude, groupe de danger : réaction avec l'eau et toxique.

La plausibilité des scénarios génériques a également été testée a priori et validée avec notre interlocuteur industriel.

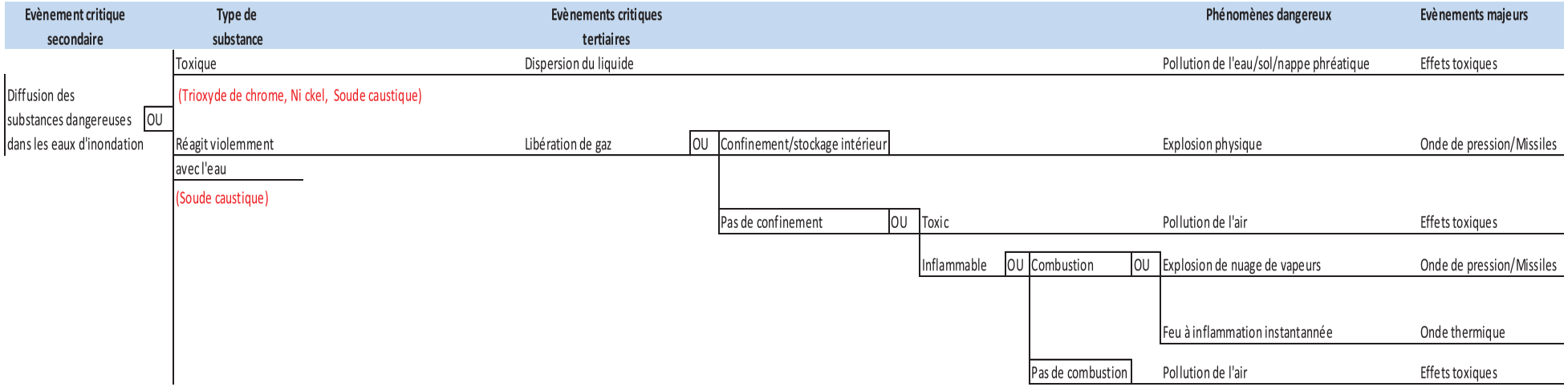


Figure 56 : Arbre d'évènements, postérieurs au rejet de substances dangereuses, spécifique à l'entreprise CIC.

iv) Liste des mesures de prévention du risque inondation adoptées au sein de l'établissement

Même si l'entreprise ne possède pas encore de plan bien défini pour faire face à une inondation éventuelle, la direction est sensibilisée et admet bien la présence de risques qu'il est possible d'éviter en adoptant des mesures de prévention spécifiques. C'est ce que nous avons remarqué au cours de nos visites.

Le tableau 29 présente des mesures de bon sens adoptées par la direction et organisées en fonction des catégories de MMR établies dans le chapitre 2.

Tableau 29 : MMR de prévention adoptées au sein de CIC organisées par catégorie de MMR de prévention établies dans le chapitre 2.

Catégorie de MMR de prévention	Mesure adoptée à CIC
Mesures générales permettant d'éviter l'entrée de l'eau dans tout le bâtiment ou bien dans une zone particulière de l'entreprise	Escaliers et sol de l'entreprise élevés par rapport à la rue, ce qui peut limiter l'entrée de l'eau dans le bâtiment
Mesures générales permettant d'éviter l'entrée de l'eau dans tout le bâtiment ou bien dans une zone particulière de l'entreprise	Devis pour placer un batardeau afin de se protéger contre l'entrée de l'eau au niveau du sous-sol
Mesures générales permettant d'éviter le contact de chaque équipement avec les eaux d'inondation	Rétentions d'une hauteur de 80 cm au niveau de la station d'épuration située en rez-de-chaussée
Mesures générales permettant d'éviter le contact de chaque équipement avec les eaux d'inondation	Rétentions au niveau des cuves de traitement
Mesures générales permettant d'éviter le contact de chaque équipement avec les eaux d'inondation	Rétentions autour de certains équipements électriques

Cette application à l'échelle de l'entreprise CIC a démontré que l'ensemble des scénarios potentiels sont pris en compte par les nœuds proposés, ce qui permet de les valider. Egalement, les MMR adoptées au sein de l'établissement appartiennent bien aux MMR techniques qui ont été identifiées antérieurement.

3.1.2.3 Validation STEM

- Interlocuteur industriel : Chef de l'entreprise

i) Présentation de l'entreprise

L'entreprise STEM (Sté de Traitements Electrolytiques des Métaux) est une PME située dans la zone urbaine de Saint Etienne, en cuvette. Elle a comme activité principale le revêtement de surface, plus particulièrement le zingage, le zingage-nickelage, l'argenture, le cuivrage, l'étamage et la passivation inox.

Les locaux de l'entreprise s'organisent dans plusieurs bâtiments autour d'une cour, constitués de trois ateliers et quatre chaines de traitement (figure 57).

L'entreprise STEM n'est pas située à proximité immédiate d'un cours d'eau (comme le cas des deux entreprises précédentes). Le PPRI du bassin du Furan indique que l'entreprise STEM est située dans la zone hachurée par rapport au risque d'inondation (figure 54).

La zone hachurée du PPRI correspond aux débordements des eaux de crue, dans la partie urbaine de Saint Etienne, du fait des capacités insuffisantes des couvertures du Furan. Les écoulements générés sont assimilés à des phénomènes de ruissellement urbain. Dans cette zone, les hauteurs d'eau et vitesses ne sont pas précisées (extrait du document du PPRI du bassin du Furan).

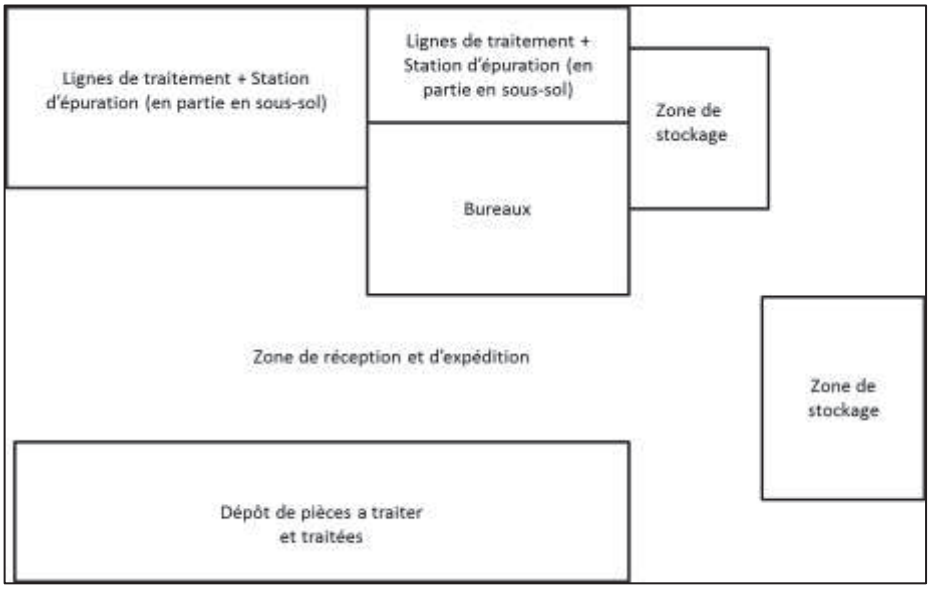

Lignes de traitement + Station d'épuration (en partie en sous-sol)
Lignes de traitement + Station d'épuration (en partie en sous-sol)
Zone de stockage
Bureaux
Zone de réception et d'expédition
Zone de stockage
Dépôt de pièces a traiter et traitées

Figure 57 : Plan de masse de l'entreprise STEM.

Cependant, l'entreprise a connu plusieurs inondations (2003, 2007, 2008), caractérisées par des montées rapides des eaux et des vitesses de courants moyennes (pas de charriage d'équipements). Il s'agit notamment d'eaux provenant de remontée par les réseaux. Aucun rapport d'accidents ou photos n'existe des conséquences de ces inondations sur l'entreprise. Mais le retour d'expérience est exploité au cours des visites de l'entreprise et des discussions avec le chef d'entreprises qui a vécu l'ensemble des inondations.

En se basant sur les inondations qui ont eu lieu à l'entreprise, il est possible d'affirmer que certains bâtiments de l'entreprise sont inondables. Il s'agit des lignes de traitement, des bureaux, de la station d'épuration et du dépôt de pièces. Les bâtiments de stockage ne sont pas inondables et peuvent ainsi servir de zones de repli (figure 57).

ii) Identification des équipements critiques présents sur le site :

L'entreprise STEM est classée ICPE non Seveso. Les équipements industriels pris en compte pour le classement sont présentés dans le tableau 30.

Tableau 30 : Installations classées au sein de l'établissement STEM (Source : Arrêté préfectoral d'autorisation d'exploitation de l'entreprise STEM).

Rubri. IC	Ali.	Date auto.	Etat d'activité	Rég.	Activité	Volume	Unité
1111	1c	23/06/2009	En fonct.	D	Très toxiques (emploi ou stockage)	300	kg
1111	2b	23/06/2009	En fonct.	A	Très toxiques (emploi ou stockage)	3510	kg
1131	2c	23/06/2009	En fonct.	D	Toxiques (emploi ou stockage)	4115	kg
2565	2a	23/06/2009	En fonct.	A	Métaux et matières plastiques (Traitement des métaux)	44310	l

Dans l'entreprise STEM, les équipements pris en compte dans la classification et correspondant à la typologie des équipements critiques considérés dans ce travail de recherche sont présentés dans le tableau 31.

Tableau 31 : Equipements industriels de l'entreprise STEM considérés comme critiques.

Equipements- Substances	Localisation-Fonction
Cuves de traitement de Zingage pour un volume maximal de 31 920 litres Principale substance : soude et zinc métal	Zone de ligne de traitement
Cuves de traitement étain argent pour un volume maximal de 6 640 litres Principale substances : cyanure d'argent + sulfate stanneux	Zone de ligne de traitement
Cuves de traitement cuivre décapage pour un volume maximal de 5 750 litres Principale substance : Acide chlorhydrique	Zone de ligne de traitement
Stockage de bains d'argent cyanuré et pré-argent cyanuré pour une quantité maximale de 2 500 kg Principale Substance : cyanure d'argent	Zone de stockage
Stockage de produits chromiques pour une quantité maximale de 800 kg Principale substance : Trioxyde de chrome	Zone de stockage
Stockage de produits de passivation pour une quantité maximale de 210 kg Principale substance : Préparations acides	Zone de stockage
Stockage de produits cyanurés pour une quantité maximale de 300 kg Principale Substance : Cyanure	Zone de stockage
Stockage de bains de passivation noire pour une quantité maximale de 1440 kg Principale substance : Acide acétique	Zone de stockage
Stockage de bains de cuivre cyanuré pour une quantité maximale de 1 900 kg Principale substance : Cuivre cyanuré	Zone de stockage
Stockage de bains de passivation cuivre cyanuré pour une quantité maximale de 450 kg Substance principale : Acide chromique	Zone de stockage
Stockage de produits de passivation, démétallisant, brillanteur pour une quantité maximale de 325 kg Substance principale : Préparations acides ou alcalines	Zone de stockage

Il ne faut pas oublier de mentionner également les canalisations transportant les solutions des bains de traitement classés à la station d'épuration (l'ajustement avec les substances stockées se fait manuellement).

Enfin, l'entreprise contient également des équipements électriques (redresseurs, armoires électriques…) situés dans la zone de ligne de traitement.

iii) Analyse du REX des inondations de l'installation industrielle

Les inondations de STEM n'ont pas provoqué d'accidents technologiques, grâce à des mesures de prévention déjà adoptées. Mais toutefois, d'autres types de dommages ont été observés : des courts-circuits d'équipements électriques, des réservoirs souterrains vides ont flotté ce qui a provoqué la rupture des canalisations reliées et le détachement de pompes clouées, des projections des couvercles d'égouts externes ont été observés, l'ensemble des bureaux ont été inondés.

Ce REX a permis notamment de valider des tronçons des arbres de défaillances des nœuds papillons génériques proposés. Il s'agit de :

- Du court-circuit des équipements électriques touchés par les eaux d'inondation,
- La flottaison d'équipements industriels accompagnés du détachement des canalisations qui lui sont reliées,
- Des renversements et des emportements d'équipements industriels non critiques par le flux hydraulique des eaux d'inondation.

Tous les dommages provoqués par l'inondation de STEM sont pris en compte par les scénarios d'accidents génériques du chapitre 2.

iv) Scénarios d'accidents potentiels pour le site spécifique

Les scénarios d'accidents potentiels ont été extraits des scénarios génériques. Comme pour le cas de la validation au niveau de l'entreprise CIC, le but de cette partie est de tester la complétude des scénarios d'accidents proposés quant aux accidents qui auraient pu se passer.

En ce qui concerne les arbres de défaillances de STEM, l'ensemble des accidents potentiels ont été pris en compte dans les arbres de défaillances génériques. Et comme pour CIC, les branches relatives aux chocs dus aux structures du bâtiment ne sont pas appliquées. Pour ne pas alourdir le document, uniquement l'arbre de défaillances correspondant à l'équipement critique « cuve de zingage» et son évènement critique correspondant « Brèche du contenant » est présenté (figure 58).

Pour l'arbre d'évènements spécifique à STEM (figure 59), les branches conservées correspondent aux groupes de danger des substances suivantes :

- Le cyanure d'argent et cuivre cyanuré: toxique, dangereux pour l'environnement, dégage des gaz très toxiques et inflammables en contact avec l'acide (acide cyanhydrique), dégage des vapeurs toxiques dans des conditions d'incendie ;
- Le trioxyde de chrome (ou acide chromique), groupe de danger correspondant : très toxique et dangereux pour l'environnement ;
- Acide acétique, groupe de danger : inflammable ;
- Sulfate stanneux, groupe de danger : dégage des vapeurs toxiques dans des conditions d'incendie (dioxyde de soufre) ;
- La soude, groupe de danger : réaction avec l'eau et toxique ;
- Le zinc métal : inflammable et dangereux pour l'environnement.

La plausibilité des scénarios génériques a également été testée a priori et validée avec notre interlocuteur industriel.

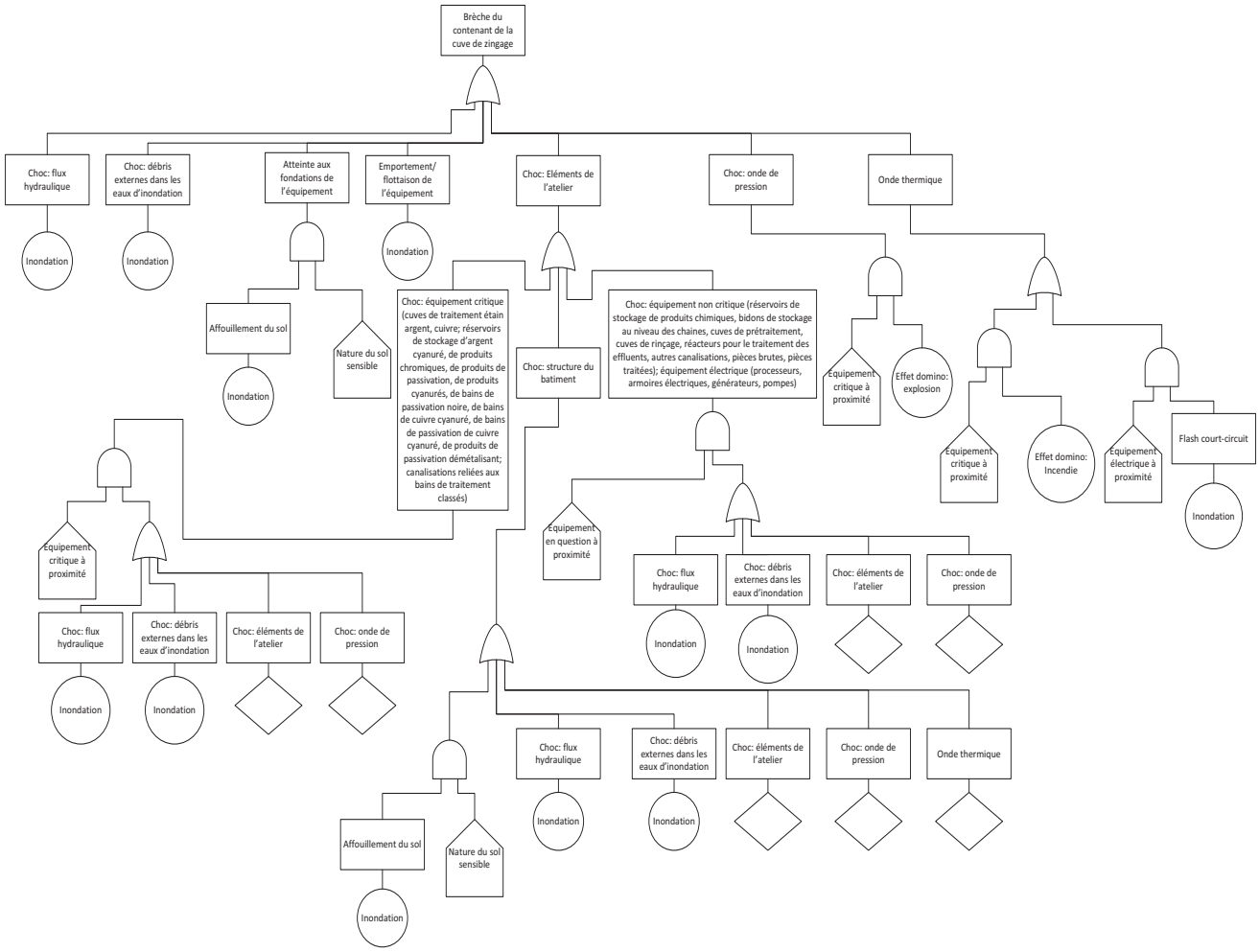

Brèche du contenant de la cuve de zingage
Choc: flux hydraulique
Choc: débris externes dans les eaux d'inondation
Atteinte aux fondations de l'équipement
Emportement/ flottaison de l'équipement
Choc: Eléments de l'atelier
Choc: onde de pression
Onde thermique
Inondation
Inondation
Affouillement du sol
Nature du sol sensible
Inondation
Inondation
Choc: équipement critique (cuves de traitement étain argent, cuivre; réservoirs de stockage d'argent cyanuré, de produits chromiques, de produits de passivation, de produits cyanurés, de bains de passivation noire, de bains de cuivre cyanuré, de bains de passivation de cuivre cyanuré, de produits de passivation démétalisant; canalisations reliées aux bains de traitement classés)
Choc: structure du batiment
Choc: équipement non critique (réservoirs de stockage de produits chimiques, bidons de stockage au niveau des chaines, cuves de prétraitement, cuves de rinçage, réacteurs pour le traitement des effluents, autres canalisations, pièces brutes, pièces traitées); équipement électrique (processeurs, armoires électriques, générateurs, pompes)
Equipement critique à proximité
Effet domino: explosion
Equipement critique à proximité
Effet domino: Incendie
Equipement électrique à proximité
Flash court-circuit
Inondation
Equipement critique à proximité
Equipement en question à proximité
Choc: flux hydraulique
Choc: débris externes dans les eaux d'inondation
Choc: éléments de l'atelier
Choc: onde de pression
Inondation
Inondation
Choc: flux hydraulique
Choc: débris externes dans les eaux d'inondation
Choc: éléments de l'atelier
Choc: onde de pression
Inondation
Inondation
Choc: flux hydraulique
Choc: débris externes dans les eaux d'inondation
Choc: éléments de l'atelier
Choc: onde de pression
Onde thermique
Affouillement du sol
Nature du sol sensible
Inondation
Inondation
Inondation

Figure 58 : Arbre de défaillances correspondant à l'évènement critique « Brèche du contenant » de l'équipement critique « cuve de zingage» de l'entreprise STEM.

v) Liste des mesures de prévention du risque inondation adoptées au sein de l'établissement

Afin de faire face au risque d'inondation, des mesures de prévention de bon sens ont été prises au sein de STEM. Le tableau 32 présente ces mesures qui sont organisées en fonction des catégories de MMR établies dans le chapitre 2.

La validation à l'échelle de l'entreprise STEM n'a pas révélé de lacunes quant aux scénarios génériques proposés dans le chapitre 2, ce qui permet de les valider. Egalement, l'examen des MMR adoptées au sein de l'établissement a permis de vérifier qu'elles appartiennent bien aux MMR techniques qui ont été identifiées dans le chapitre 2.

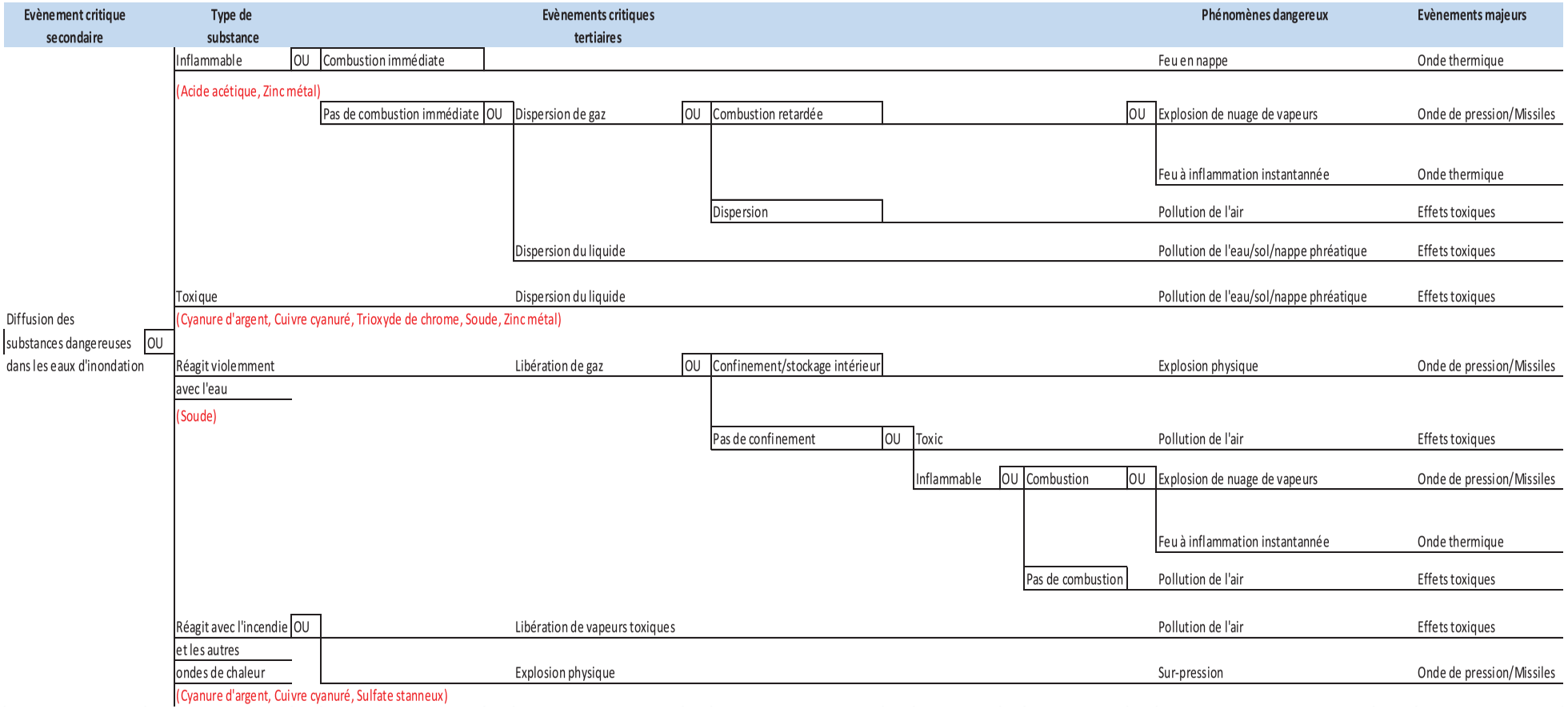


Figure 59 : Arbre d'évènements, postérieurs au rejet de substances dangereuses, spécifique à l'entreprise STEM.

Tableau 32 : MMR de prévention adoptées au sein de STEM organisées par catégorie de MMR de prévention établies dans le chapitre 2.

Catégorie de MMR de prévention	Mesure adoptée à CIC
Mesures générales permettant d'éviter le contact de chaque équipement avec les eaux d'inondation	Augmentation de la hauteur des bassins de rétention autour des cuves de traitement et de la station d'épuration
Mesures générales permettant d'éviter le contact de chaque équipement avec les eaux d'inondation + Mesures générales permettant d'éviter le contact de l'équipement avec les eaux d'inondation (en déplaçant l'équipement hors de la zone inondable ou bien en hauteur)	Surélévation et rétention autour des équipements électriques
Mesures générales permettant d'éviter le contact de chaque équipement avec les eaux d'inondation + Mesures générales permettant d'éviter le contact de l'équipement avec les eaux d'inondation (en déplaçant l'équipement hors de la zone inondable ou bien en hauteur)	Surélévation et bacs de rétention pour les stockages de produits chimiques
Mesures générales permettant d'éviter le contact de l'équipement avec les eaux d'inondation (en déplaçant l'équipement hors de la zone inondable ou bien en hauteur)	Surélévation de cuves de traitement
Mesures générales permettant d'éviter le contact de l'équipement avec les eaux d'inondation (en déplaçant l'équipement hors de la zone inondable ou bien en hauteur)	Le stockage du cyanure se fait en hauteur et dans un conteneur fermé à clé
Mesures de protection pour chaque équipement	Remplissage de réservoirs d'eau pour éviter leur flottaison par les eaux d'inondation
-	Utilisation de bacs en plastique dans les bureaux pour éviter la destruction de dossiers d'informations

3.1.2.4 Préférence du support d'analyse

Durant nos rencontres avec nos interlocuteurs industriels au sein de CIC et de STEM, nous les avons interrogés quant à leur **préférence concernant la présentation finale de la méthodologie adoptée (sous forme de nœuds papillons ou bien sous forme de diagnostic de vulnérabilité et plus précisément de questionnaire)**, afin de répondre à notre quatrième hypothèse de recherche énoncée dans le chapitre 1 **« H4 : Il est plus intéressant de proposer une méthode de gestion de risques simplifiée permettant de réduire la vulnérabilité du site industriel au risque Natech inondation sous forme de diagnostic de vulnérabilité ».** Nos deux interlocuteurs, qui sont les chefs des entreprises, nous ont bien précisé qu'ils préféraient un diagnostic sous forme de questionnaire simple d'utilisation proposant des mesures de prévention et de protection efficaces, plutôt que de faire affaire

à des scénarios d'accidents longs et complexes et ceci par manque de temps de traitement de ces types de données.

3.1.3 Synthèse de la phase de validation

Ainsi, dans la première partie du chapitre 3 (partie 3.1), une validation des scénarios antérieurement développés a été effectuée à deux niveaux. Dans un premier temps, à l'échelle du secteur d'activité de traitement de surface (validation générique), ce qui nous a permis de s'assurer que nos scénarios prennent bien en compte l'ensemble des évènements potentiels Natech inondation propres à ce secteur d'activité (complétude des scénarios vis-à-vis du secteur de traitement de surface). Dans un second temps, à l'échelle de deux industries de traitement de surface situées en zone inondable (validation spécifique), ce qui nous a permis de s'assurer que nos scénarios sont complets, comme ils prennent en compte l'ensemble des scénarios Natech inondation potentiels dans ces entreprises, et plausibles suite au jugement par les industriels eux-mêmes.

En plus de la validation de la complétude et de la plausibilité des scénarios, cette partie 2 du chapitre 3 a permis de recueillir le retour des industriels quant aux scénarios proposés sous forme de nœuds papillons. En effet, **bien que les nœuds papillons puissent servir de pré-analyse de risque Natech inondation, les entretiens avec nos différents interlocuteurs industriels ont montré que ces nœuds peuvent ne pas être évidents à l'utilisation. Ainsi, il est nécessaire de proposer un mode alternatif de gestion du risque Natech inondation, ceci constitue une première validation de notre hypothèse H4.**

Ainsi, afin d'aider les industriels à évaluer la vulnérabilité de leur entreprise vis-à-vis des accidents Natech inondation, nous proposons dans la suite de ce chapitre un outil de diagnostic basé sur un questionnaire reprenant l'ensemble des éléments nécessaires à l'évaluation de la vulnérabilité au risque Natech inondation et traduisant notre méthodologie. En outre, ce questionnaire permet d'apporter des éléments supplémentaires sur les MMR (techniques et organisationnelles) que l'entreprise peut adopter, que ce soit en prévention qu'en protection.

3.2 Elaboration de l'outil de diagnostic de la vulnérabilité de l'entreprise au risque d'accidents technologiques induits par l'inondation

Les scénarios génériques d'accidents Natech inondation sous forme de nœuds papillons qui sont, à cette étape du travail validés, vont servir de base pour le développement de l'outil de diagnostic (sous forme de questionnaire) de vulnérabilité à ce type d'accidents

Le travail de construction de cet instrument s'est appuyé sur le modèle générique de modélisation générale d'autodiagnostic de vulnérabilités aux inondations décrit dans la figure 15 du chapitre 1 (page 70), appliqué à notre problématique. La figure 60 illustre de façon succincte le schéma global de déroulement d'un diagnostic de vulnérabilité qui vient appuyer cette modélisation.

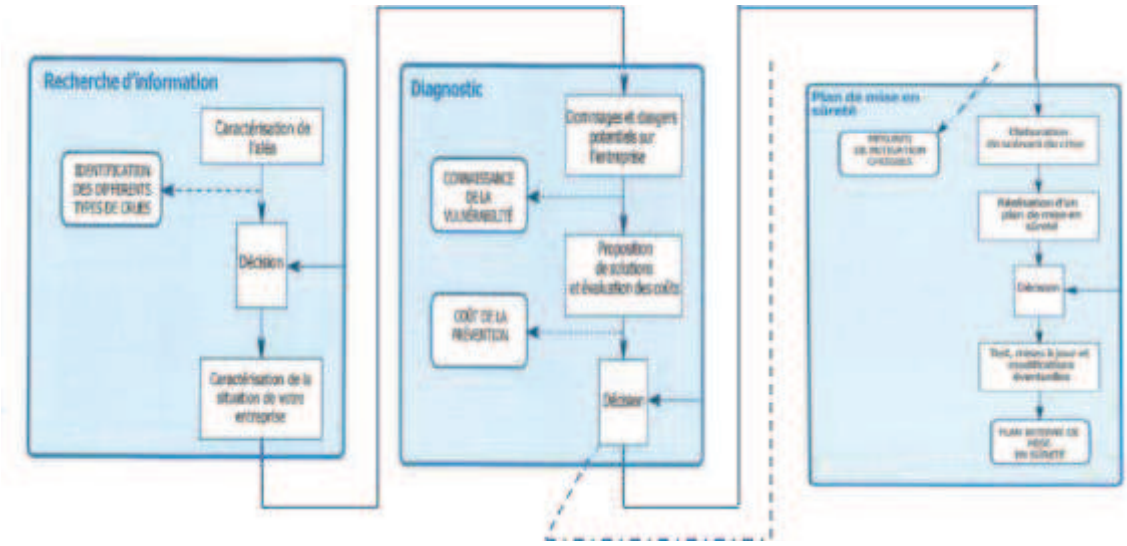


Figure 60 : Schéma global de déroulement d'un diagnostic de vulnérabilité (GSC MEDDE, 2007).

3.2.1 Apports du diagnostic pour l'entreprise

Les apports de l'outil de diagnostic, sous format questionnaire, sont :

- Apports sur le plan de la prévention du risque inondation :

- Le diagnostic permet à l'industriel de s'informer sur le risque inondation menaçant son site ;
- Il permet de fournir des informations sur les conséquences réelles d'une inondation sur l'entreprise ;
- Il permet également de proposer des MMR tout en démontrant de l'intérêt de leur mise en place. Cela aide à réduire l'impact d'une inondation sur l'entreprise ;
- Il permet de mieux réagir face à une inondation du fait d'une meilleure connaissance des conséquences potentielles sur le site (notamment par l'intermédiaire du développement du plan d'urgence) ;
- L'application du diagnostic permet de prouver que le risque Natech inondation a bien été pris en compte et maîtrisé vis-à-vis des textes règlementaires et des rapports avec les assureurs.

- Apport sur le plan économique : L'application du diagnostic permet d'assister le responsable dans la réduction des conséquences d'accidents technologiques induits par l'inondation sur l'entreprise et son voisinage. En identifiant et réduisant la vulnérabilité de l'entreprise aux accidents technologiques induits par une inondation, il est possible d'économiser sur la réparation des dégâts imputables par ces accidents.

Il s'agit d'un outil d'aide à la décision qui va permettre à l'utilisateur d'effectuer des choix de mesures à adopter pour réduire le risque d'accidents technologiques induits par l'inondation du site industriel diagnostiqué.

3.2.2 Composition de l'instrument de diagnostic et mode d'emploi

L'instrument est constitué de trois documents distincts :

- Le diagnostic, composé de 11 fiches de A à K, chacune formée d'une série de questions et organisées en 4 parties ;
- Un guide d'utilisation ;
- Un catalogue de mesures de prévention.

Le diagnostic propose une série de fiches qui peuvent accompagner le responsable dans l'identification et la réduction de la vulnérabilité de son entreprise au risque d'accidents technologiques induits par l'inondation.

Les fiches contiennent des questions et des informations afin de lui permettre de choisir les moyens de prévention et de protection les plus adaptés au cas de son entreprise.

Chaque fiche est constituée par des parties suivantes :

- L'objectif final qu'il faut atteindre en répondant aux questions de la fiche ;
- Une liste des documents nécessaires pour bien répondre aux questions ;
- Une liste de questions permettant d'aboutir à l'objectif final.

Les fiches doivent être renseignées chronologiquement : des données nécessaires pour le remplissage de certaines fiches dépendent de réponses remplies dans des fiches précédentes.

Egalement, pour chacune des fiches, des informations supplémentaires et nécessaires pour un bon remplissage sont fournies dans le guide d'utilisation.

Le catalogue de mesures de prévention qui accompagne le diagnostic, quant à lui, fournit une liste de mesures de prévention ainsi que des informations relatives à chaque mesure, ce qui permettra au responsable de choisir les mesures adéquates pour son entreprise en fonction des informations fournies et des réponses aux questions des fiches.

La figure 61 présente l'agencement des différentes parties du diagnostic qui se base sur les différentes étapes classiques de maîtrise de risque.

3.2.3 Description du déroulement du diagnostic

3.2.3.1 Etape 1 : Identifier les risques

L'analyse des chapitres 1 et 2 a révélé que, dans le cas de ce travail de recherche, deux composantes essentielles constituent le risque Natech inondation :

- La vulnérabilité de l'entreprise au risque inondation (partie relative aux arbres de défaillances des nœuds papillons),
- Le risque technologique induit par l'inondation de l'entreprise (partie relative à l'arbre d'évènements des nœuds papillons).

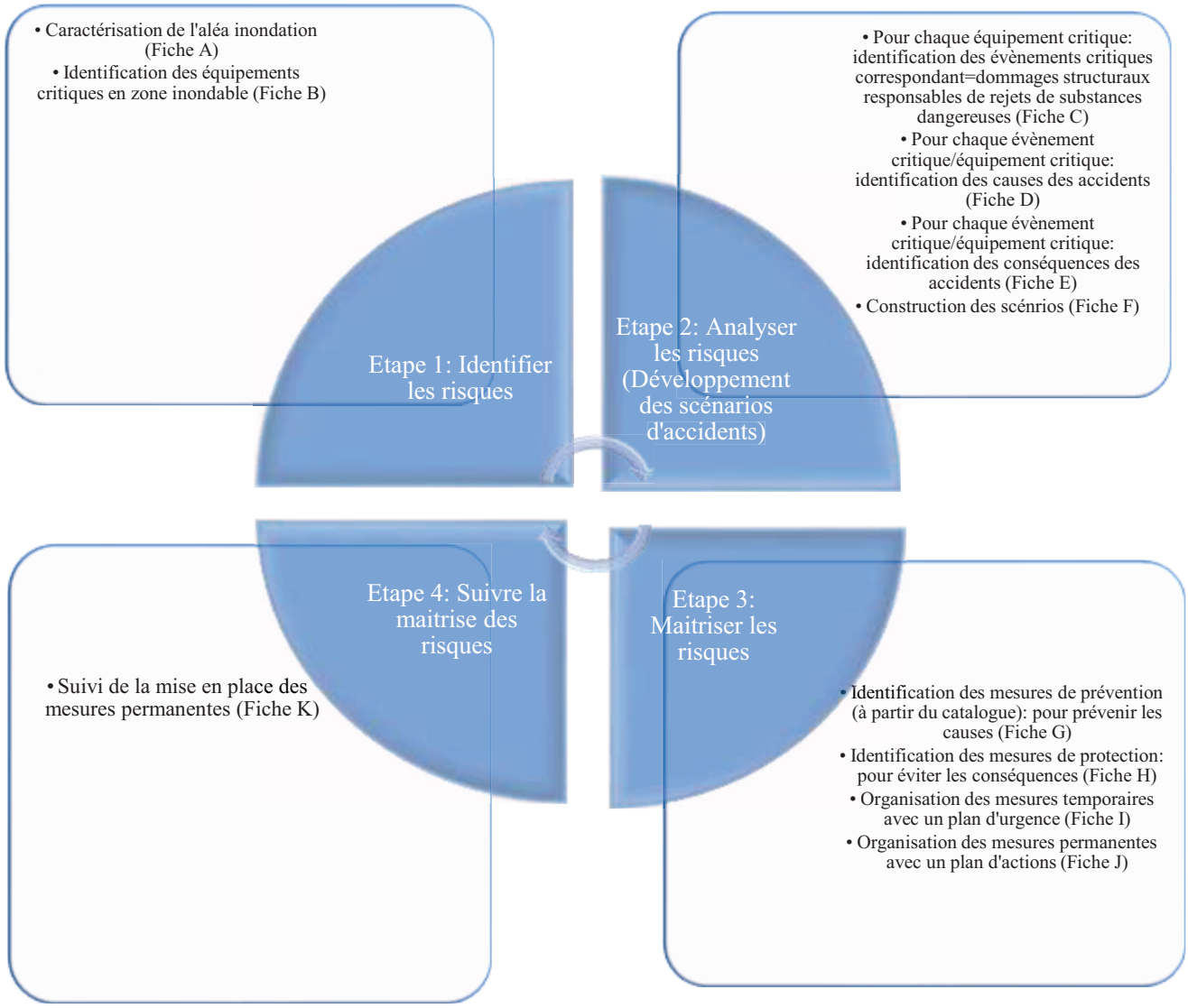

• Caractérisation de l'aléa inondation (Fiche A)
• Identification des équipements critiques en zone inondable (Fiche B)
Etape 1: Identifier les risques
Etape 2: Analyser les risques (Développement des scénarios d'accidents)
• Pour chaque équipement critique: identification des évènements critiques correspondant=dommages structuraux responsables de rejets de substances dangereuses (Fiche C)
• Pour chaque évènement critique/équipement critique: identification des causes des accidents (Fiche D)
• Pour chaque évènement critique/équipement critique: identification des conséquences des accidents (Fiche E)
• Construction des scénrios (Fiche F)
Etape 4: Suivre la maitrise des risques
• Suivi de la mise en place des mesures permanentes (Fiche K)
Etape 3: Maitriser les risques
• Identification des mesures de prévention (à partir du catalogue): pour prévenir les causes (Fiche G)
• Identification des mesures de protection: pour éviter les conséquences (Fiche H)
• Organisation des mesures temporaires avec un plan d'urgence (Fiche I)
• Organisation des mesures permanentes avec un plan d'actions (Fiche J)

Figure 61 : Agencement des différentes parties du diagnostic. Inspiré de (Mengual, 2005).

Ainsi, la première partie du diagnostic consistant à identifier le risque Natech inondation au niveau de l'entreprise diagnostiquée est constitué de deux fiches :

- Fiche A : Prendre connaissance du type d'inondation menaçant le site industriel ;
- Fiche B : Identifier les équipements « critiques » situés en zone inondable du site.

i) Fiche A « Prendre connaissance du type d'inondation menaçant le site industriel » :

Afin de maîtriser efficacement le risque d'inondation et les accidents qui peuvent en découler, il est important de pouvoir caractériser l'aléa inondation menaçant le site ainsi que ses paramètres spécifiques.

Tout d'abord, la fiche A permet une identification des types d'inondation menaçant l'entreprise diagnostiquée.

Ensuite, les paramètres d'inondation influençant les dommages pour chaque type d'inondation sont identifiés :

- la hauteur de submersion : il est possible d'affiner cette donnée en distinguant la hauteur d'eau sur le terrain naturel (donnée issue de la cartographie) de la hauteur d'eau les bâtiments de l'entreprise car le rez-de-chaussée de l'entreprise n'est pas forcément au niveau du terrain naturel (Mengual, 2005);
- La vitesse de courant : elle peut être renseignée par des données quantitatives ou qualitatives (en fonction des données disponibles). Si les valeurs de vitesses sont manquantes, les dommages observés au cas où le site a déjà été inondé peuvent servir d'alternatives ;
- La quantité de débris externes contenus dans les eaux d'inondation : comme ils peuvent provoqués des dommages aux équipements industriels ;
- Les périodes de survenance de l'inondation.

Ensuite un choix est à faire du scénario d'inondation de référence (figure 61). Ce diagnostic, comme ce travail de recherche permet d'étudier la vulnérabilité de l'enjeu installation industrielle en considérant le scénario d'inondation le plus intense pouvant la toucher, selon les paramètres d'intensité, sans tenir compte de sa probabilité d'occurrence. Ainsi, dans le diagnostic, il est demandé de choisir le scénario d'occurrence le plus rare afin de s'intéresser à la hauteur d'eau maximum envisageable pour le site (ou bien celui retenu dans le PPRI, généralement la plus forte crue connue ou à défaut la crue centennale si celle-ci lui est supérieure).

Le recueil de ces informations est suivi par l'identification des paramètres délai d'alerte et vitesse de monté des eaux qui vont conditionner le temps nécessaire pour la prise des mesures de prévention d'urgence.

Enfin, l'identification de la zone inondable sur le site industriel pour le scénario de référence retenu est demandée en s'appuyant sur une observation du site industriel en s'intéressant plus particulièrement aux pentes, aux points les plus bas et au cheminement possible des eaux (direction de flux des eaux d'inondation). Egalement, une identification des parties non inondables est intéressante comme elles peuvent être utilisées comme zones de repli.

ii) Fiche B « Identifier les équipements « critiques » situés en zone inondable du site » :

Afin de maîtriser efficacement le risque d'accidents technologiques induits par l'inondation, outre la connaissance de l'aléa inondation menaçant l'entreprise, il faut bien identifier les différentes parties de l'entreprise et plus particulièrement les équipements les plus sensibles pouvant déclencher des accidents technologiques. Le but est de pouvoir identifier rapidement les conséquences d'une inondation sur l'entreprise.

Ainsi, il convient tout d'abord d'effectuer un schéma fonctionnel de l'entreprise pour recenser, caractériser, ordonner et hiérarchiser les principales fonctions. Par fonction, il faut entendre « grand domaine d'activités qui concourent à la réalisation des missions de l'entreprise » (Mengual, 2005).

La fiche B propose une méthode simple pour conduire cette analyse fonctionnelle ainsi qu'un exemple de diagramme que pouvant être utilisé pour représenter les activités et leurs relations. Il s'agit de la modélisation structuro-fonctionnelle (présentée avec ses avantages antérieurement de ce mémoire). L'exemple proposé a été inspiré de la méthode SADT, très largement utilisée en industrie pour son avantage d'excellent outil de communication entre utilisateurs grâce à sa notation graphique et sa syntaxe simple (Vernadat, 2010). Le but de cette modélisation fonctionnelle est d'effectuer un « brain-storming » permettant de se remémorer, d'une manière exhaustive, les équipements industriels du site.

A la suite de la représentation fonctionnelle, il faudra s'intéresser aux équipements « critiques » situés au niveau de chaque fonction et en zone inondable. Ce sont ces équipements qui sont considérés comme les sources de danger principales d'accidents technologiques une fois endommagés suite à l'inondation de l'entreprise. Ces équipements ne sont autres que ceux qui sont visés dans la réglementation des installations classés (mentionnés dans l'arrêté préfectoral de classification ICPE).

Il faudra donc identifier l'ensemble des équipements critiques et pour chacun le groupe de danger associé à la substance chimique qu'il contient. Pour connaître le groupe de danger, il faut rechercher la phrase de risque correspondante à la substance en question (information présente dans les fiches de données de sécurité) (tableau 33).

Tableau 33 : Tableau à renseigner proposé dans la fiche B permettant d'identifier les équipements critiques dans le site industriel, les substances qu'ils contiennent et les groupes de danger correspondants.

Groupes d'équipements	**Equipements identifiés dans le site industriel**	**Substances en question**	**Groupes de danger associés (inflammable, toxique, réagissant avec l'eau, réagissant avec la chaleur et autres sources d'ignition)**
Réservoir de stockage	- - - - -	- - - - -	
Réservoir de stockage intermédiaire	- - - -	- - - -	
Réacteur	- - - -	- - - -	
Canalisations	- - - -	- - - -	

Les substances dangereuses à prendre en compte dans le diagnostic par groupe de danger en utilisant les phrases de risque sont celles qui sont considérés dans ce travail de recherche (mentionnées dans le chapitre 2).

Suite à l'identification des équipements critiques, il faut identifier les équipements industriels à proximité de chacun d'eux, ainsi que leurs dépendances à d'autres systèmes industriels afin de pouvoir balayer l'ensemble des causes d'endommagement des équipements critiques (figure 62).

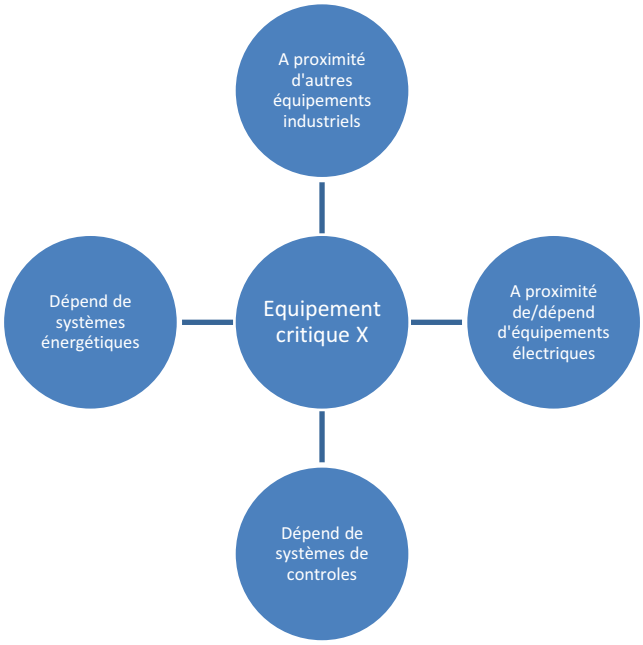

A proximité d'autres équipements industriels
Dépend de systèmes énergétiques
Equipement critique X
A proximité de/dépend d'équipements électriques
Dépend de systèmes de controles

Figure 62 : Schéma (facultatif) de la fiche B permettant de représenter chaque équipement critique identifié pour faciliter la visualisation de son environnement et de ses dépendances à l'échelle industrielle.

Enfin, parmi les équipements critiques identifiés, il faudra bien distinguer ceux qui nécessitent un temps d'arrêt complet supérieur au temps d'alerte et ceux qui doivent être maintenu en marche pour des raisons de sécurité. En effet, ces équipements et les systèmes dont ils dépendent font l'objet de mesures de prévention spécifiques.

La suite du diagnostic consiste à comprendre comment la conjonction entre l'aléa inondation et les équipements critiques au sein de l'installation industrielle diagnostiquée vont générer les accidents Natech inondation afin de pouvoir les mitiger.

3.2.3.2 Etape 2 : Analyser les risques (Développement des scénarios d'accidents)

Afin d'analyser les risques et de développer les scénarios d'accidents Natech inondation propres au site industriel diagnostiqué, quatre fiches ont été proposées dans le diagnostic :

i) Fiche C « Identifier, pour chaque équipement critique, les évènements « critiques » potentiels » :

L'étape 2 d'analyse de risques commence, tout d'abord, par l'identification des évènements critiques, sélectionnés dans un tableau présenté dans la fiche C, en fonction du type d'équipement critique (tableau 34). En effet, les évènements critiques sont responsables de rejet de substances

dangereuses responsables des accidents technologiques comme il a été mentionné antérieurement dans ce manuscrit.

Tableau 34 : Tableau de la fiche C permettant de rechercher les évènements critiques par équipement critique identifié sur le site industriel.

Equipement critique identifié dans le site industriel	**Evènements critiques potentiels induits par les eaux d'inondation**
-	- -
-	- -
-	- -
-	- -

Les évènements critiques sont ceux qui ont été décrits en détails dans le chapitre 2.

En analysant les causes de ces évènements et leurs conséquences, il est possible de retrouver les scénarios d'accidents technologiques induits par l'inondation de l'entreprise dans le but de les mitiger.

ii) Fiche D « Identifier la vulnérabilité de l'entreprise au risque d'accidents technologiques induits par l'inondation » :

L'équipement critique est l'élément le plus important dans l'installation vis-à-vis du déclenchement d'accidents technologiques induits par l'inondation, d'où l'importance d'analyser les causes des dommages qui peuvent lui être provoqués directement ou indirectement par l'inondation.

La fiche D permet d'identifier les causes de ces dommages structuraux. Elle est constituée de cinq séries de questions par évènement critique (brèche du contenant, renversement de l'équipement, rupture de canalisation, noyage de l'équipement, défaillance du système de contrôle de niveau). A chaque équipement critique pouvant subir des évènements critiques, est associé une série de questions. Cela permettra d'identifier pour chaque équipement, les causes potentielles de son dommage direct ou indirect par les eaux d'inondation, qui peuvent être dues selon le cas à (figure 62):

- son contact avec les eaux d'inondation ;
- son choc par les structures du bâtiment ;
- sa proximité d'autres équipements industriels ;
- sa proximité d'équipements électriques ;
- sa dépendance de systèmes de contrôle ;
- sa dépendance de systèmes énergétiques.

Il est préconisé à la personne remplissant le diagnostic de ne pas prendre en compte les MMR déjà mises en place sur le site en répondant aux questions.

Voici un exemple (Extrait de la fiche D) correspondant aux équipements critiques pouvant subir une brèche et qui sont à proximité/ou dépendant d'un équipement électrique :

Proximité d'un équipement électrique : *Répondre à cette série de questions uniquement dans le cas où l'équipement critique est à proximité d'un équipement électrique*

Est-ce que l'aléa inondation menaçant l'équipement présente une intensité d'inondation importante (Vitesse>0,2m/s et Hauteur>0,5m- scénario de référence fiche A) pouvant être responsable de l'emportement de l'équipement électrique? (A531) (MMR 47)	
Si oui	**Possibilité de brèche par déplacement de l'équipement électrique à proximité**

Est-ce que les eaux d'inondation peuvent contenir des quantités importantes de débris susceptibles de provoquer le déplacement de l'équipement électrique et par la suite un choc avec l'équipement critique en question? (réponse fiche A) (A532) (MMR 31)	
Si oui	**Possibilité de brèche par déplacement de l'équipement électrique à proximité par des débris externes**

Est-ce que l'équipement électrique situé à proximité de l'équipement critique en question peut être touché par les eaux d'inondation susceptible de provoquer un flash de court-circuit et par la suite un incendie ? (A72) (MMR 27, 28, 29, 30, 31, 48, 49, 50, 51, 52)	
Si oui	**Possibilité de brèche due à l'incendie provoquée par le court-circuit de l'équipement électrique**

Est-ce que l'équipement électrique doit être maintenu en marche ? (dans deux cas : l'équipement critique en question- ou tout autre système nécessaire à son bon fonctionnement- a besoin d'un temps d'arrêt supérieur au temps d'alerte ou bien il doit être maintenu en marche pour raison de sécurité) (MMR 53)	
Si oui	**Application de certaines MMR spécifiques**

iii) Fiche E « Identifier les accidents technologiques potentiels induits par l'inondation du site industriel » :

A la suite de l'identification des causes des dommages structuraux subis par les équipements critiques suite à l'inondation du site industriel, il convient de rechercher les conséquences de ces dommages structuraux.

La conséquence primaire est le rejet de substances dangereuses par les équipements. C'est ce rejet qui est responsable de l'apparition des accidents technologiques.

La génération des accidents technologiques dépend de deux paramètres :

- les conditions de rejets de substances dangereuses par les équipements critiques
- le groupe de danger des substances rejetées

Ainsi, les questions de la fiche E sont divisées en 4 séries en fonction du groupe de danger des substances rejetées (inflammables, toxiques, réagissant violemment avec l'eau et réagissant avec l'incendie, la chaleur et d'autres sources d'ignition).

A chaque équipement critique contenant une substance dangereuse appartenant à l'un des groupes de danger ci-dessus, est associé une série de questions. Cela permettra d'identifier pour chaque équipement, les conséquences potentielles de son dommage structurel, en fonction du groupe de danger de la substance rejetée et aussi des conditions de rejets (mentionnées dans les questions).

Voici un exemple (Extrait de la fiche E) correspondant aux équipements critiques contenant des substances réagissant avec l'eau :

Pour les équipements critiques contenant des substances réagissant violemment avec l'eau :
Répondre à cette série de questions uniquement dans le cas où l'équipement critique contient une substance chimique réagissant violemment avec l'eau

Mesures pour limiter la progression à la pollution de l'eau, de l'air et du sol + Mesures pour limiter la propagation de la pollution de l'eau, de l'air et du sol + Mesures pour limiter la progression aux explosions + Mesures pour limiter la propagation et les effets des explosions

L'équipement en question est-il situé dans un lieu enfermé/confiné ?	
Si oui	**Possibilité d'explosion suite à la libération de gaz suivant le contact de la substance et l'eau** (D'31)
Si non	**Possibilité de libération de gaz provoquant une pollution de l'air** (D'32)

Les gaz libérés, suite au contact de la substance avec l'eau, sont-ils inflammables (ceci dépend de la nature de la substance en question)?		
Si oui	Les gaz libérés sont-ils sujets à une ignition suite à la présence de l'une de ces sources d'ignition à proximité (50m) de l'équipement critique en question: équipement critique, équipement électrique, canalisations de transport de chaleur?	
	Si oui	**Possibilité de génération d'explosion ou d'incendie** (D'33)
	Si non	**Possibilité de rejets de substances gaz provoquant des pollutions de l'air** (D'34)

iv) Fiche F « Construire les scénarios d'accidents technologiques induits par l'inondation, spécifiques au cas de votre site industriel » :

La fiche F est une fiche facultative qui permet de construire ses propres scénarios d'accidents technologiques induits par l'inondation. Ces scénarios peuvent servir en guise d'analyse de risque. Cette fiche permet à l'industriel, s'il le souhaite, de conduire ses propres scénarios d'accidents Natech inondation pouvant lui servir dans d'autres applications que dans le cadre de ce diagnostic.

La construction des scénarios s'effectue sur la base de scénarios génériques déjà élaborés sous forme de nœuds papillons. C'est en fonction des réponses aux questions des fiches D et E qu'il est possible de construire les nœuds papillons spécifiques à l'installation industrielle diagnostiquée.

Un nœud papillon est proposé par évènement critique : brèche du contenant, renversement de l'équipement, rupture de canalisation, noyage de l'équipement et défaillance du système de contrôle de niveau (centre du nœud- évènement redouté central), regroupant d'une part les causes de ces évènements et les conséquences des évènements critiques. Au total, il y a cinq nœuds génériques (dont deux assez simples) correspondant au nombre des évènements critiques : avec cinq arbres de défaillances différents et un seul arbre d'évènements commun (tableau 35).

Tableau 35 : Constitution des nœuds papillons proposés dans le cadre du diagnostic.

Equipement critique	Arbres de défaillances	Arbre d'évènements
Réservoir de stockage **Réacteur**	Arbre de défaillances- Brèche du contenant Arbre de défaillances- Renversement de l'équipement Arbres de défaillances- Noyage de l'équipement	1 seul Arbre d'évènements commun
Réacteur	Arbres de défaillances- Défaillance du système de contrôle de niveau	
Canalisations	Arbre de défaillances- Rupture de canalisations	

La construction des nœuds papillons spécifiques au site industriel diagnostic s'effectue de la manière suivante : Pour chaque évènement critique/équipement critique identifié dans le tableau de la fiche C, les causes et les conséquences spécifiques au site industriel sont sélectionnés dans les arbres génériques. Il s'agit du regroupement à gauche de l'arbre de défaillances (obtenu en fonction des réponses aux questions de la fiche D) et à droite de l'arbre d'évènements (obtenu en fonction des réponses aux questions de la fiche E). Les scénarios d'accidents spécifiques au site industriel diagnostiqué sont ainsi obtenus.

En effet, les arbres de dafaillances proposés sont divisés (comme les questions de la fiche D) en sous-catégories sous forme de sous-branches, en fonction des équipements qui peuvent se trouver potentiellement à proximité de l'équipement critique en question et sa dépendance aux systèmes de contrôle et aux systèmes énergétiques.

Ainsi en fonction des réponses aux questions de la fiche D, il est possible de choisir les sous-branches qui s'appliquent au cas de l'évènement critique/équipement critique et les préserver ou au contraire, les enlever.

Pour faciliter la tâche à la personne remplissant le diagnostic, les arbres de défaillances et d'évènements ont été numérotés pour permettre de les relier aux questions des fiches D et E. Ainsi, en fonction des réponses aux questions des fiches D et E, il est possible d'identifier les branches des arbres de défaillances et d'évènements génériques qui s'appliquent au cas spécifique du site industriel : Elles correspondent aux branches portant la même numérotation des questions des fiches D et E.

Voici un exemple de la construction des arbres de défaillances à partir des réponses obtenues à la fiche D :

Extrait de la fiche D : Contact entre l'équipement critique et les eaux d'inondation :

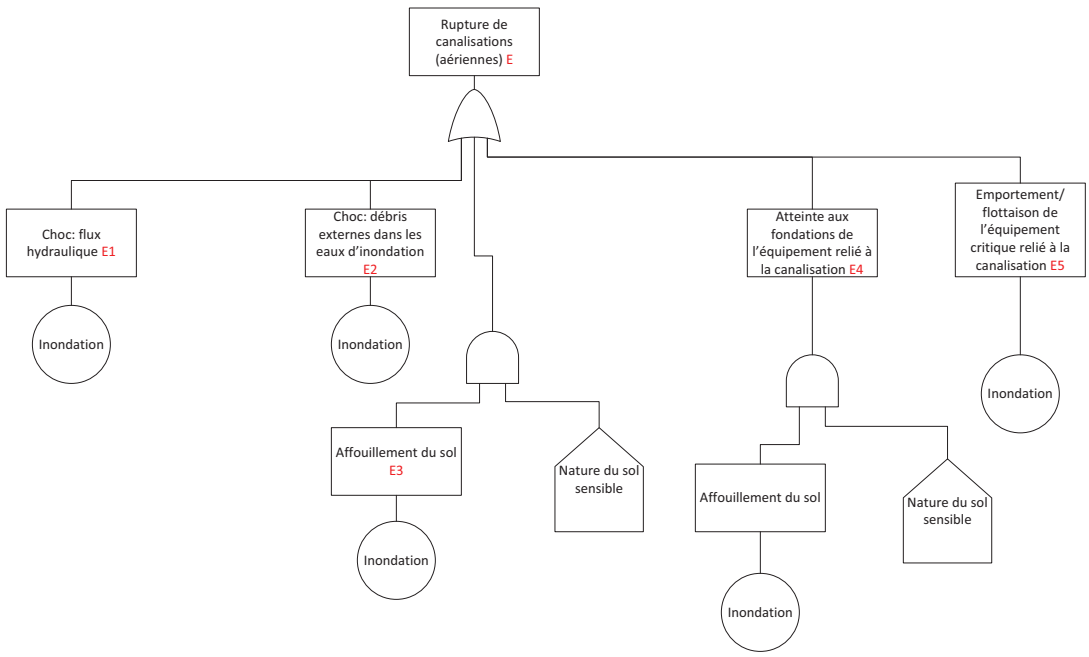
Est-ce que l'aléa inondation menaçant l'équipement présente une intensité d'inondation importante (Vitesse>0,2m/s et Hauteur>0,5m- scénario de référence fiche A) pouvant être responsable de la rupture de la canalisation en question ? (E1) Réponse Oui	
Si oui	**Possibilité de rupture de la canalisation due au flux hydraulique Applicable**

Est-ce que l'aléa inondation menaçant l'équipement présente une intensité d'inondation importante (Vitesse>0,2m/s et Hauteur>0,5m- scénario de référence fiche A) pouvant être responsable de l'emportement ou la flottaison d'un équipement relié à une canalisation « critique » ? (E5) Réponse Oui		
	Si oui	**Possibilité de rupture de la canalisation due à l'emportement et à la flottaison de l'équipement critique à laquelle elle est reliée Applicable**

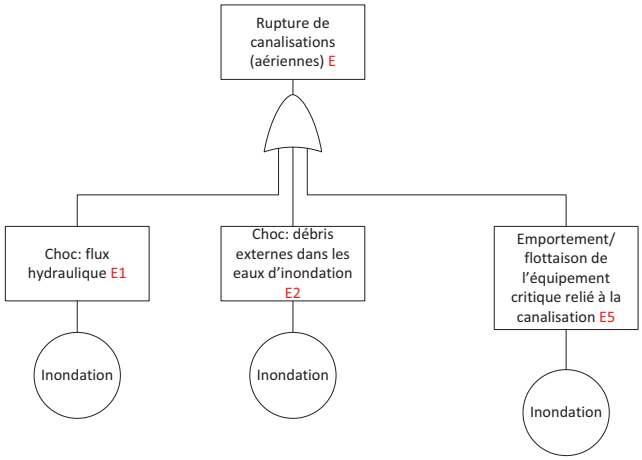
Est-ce que l'aléa inondation menaçant l'équipement présente une vitesse importante (Vitesse>0,2m/s- scénario de référence fiche A) pouvant être responsable de l'affouillement du sol et par la suite la rupture de la canalisation en question située au niveau du sol? (E3) Réponse Oui		
Est-ce que l'aléa inondation menaçant l'équipement présente une vitesse importante (Vitesse>0,2m/s- scénario de référence fiche A) pouvant être responsable de l'affouillement du sol et par la suite l'atteinte aux fondations de l'équipement relié à la canalisation provoquant sa rupture? (E4) Réponse Oui		
Si la réponse à une des questions est oui	Est-ce que la nature géologique du sol sur lequel est implantée votre entreprise est susceptible d'affouillement ? Réponse Non	
	Si oui	**Possibilité de rupture de canalisations due à l'affouillement du sol Non Applicable**

Est-ce que les eaux d'inondation peuvent contenir des quantités importantes de débris susceptibles de provoquer des dommages à l'équipement critique en question? (réponse fiche A) (E2) Réponse Oui	
Si oui	**Possibilité de rupture de canalisation due aux débris externes Applicable**

Extrait de l'arbre de défaillances générique correspondant à l'évènement critique : Rupture des canalisations


Rupture de canalisations (aériennes) E
Choc: flux hydraulique E1
Choc: débris externes dans les eaux d'inondation E2
Atteinte aux fondations de l'équipement relié à la canalisation E4
Emportement/ flottaison de l'équipement critique relié à la canalisation E5
Inondation
Inondation
Affouillement du sol E3
Nature du sol sensible
Inondation
Affouillement du sol
Nature du sol sensible
Inondation
Inondation

L'arbre de défaillances correspondant à la réponse aux questions devient :


Rupture de canalisations (aériennes) E
Choc: flux hydraulique E1
Choc: débris externes dans les eaux d'inondation E2
Emportement/ flottaison de l'équipement critique relié à la canalisation E5
Inondation
Inondation
Inondation

En ce qui concerne les arbres d'évènements, ils sont divisés (comme les questions de la fiche E) en sous-catégories sous forme de sous-branches, en fonction de groupe de danger des substances dangereuses rejetées et des conditions dans lesquelles elles sont rejetées (confinement, présence de sources d'ignition à proximité).

Ainsi en fonction des réponses aux questions de la fiche E, il est possible de choisir les sous-branches qui s'appliquent au cas de l'évènement critique/équipement critique et les préserver ou au contraire, les enlever.

La construction du nœud papillon en associant pour chaque évènement critique correspondant à un équipement critique identifié dans la fiche C, l'arbre des défaillances à gauche et l'arbre des évènements à droite (obtenus dans la fiche F) pour obtenir l'ensemble des nœuds papillons caractéristiques du site industriel diagnostiqué.

Avant d'arriver à l'étape 3 de maîtrise de risques du diagnostic, il est important de mentionner qu'aucune hiérarchisation des risques n'a été effectuée dans le cadre de ce diagnostic (partie du modèle type d'un diagnostic- figure 15 du chapitre 1). Cela est dû au manque de données nécessaires pour la proposition d'une échelle de hiérarchisation de ce type de risque Natech inondation. Ainsi, une identification de l'ensemble des évènements des évènements susceptibles de conduire à un accident majeur suite à l'inondation de l'industrie sont pris en compte, sans considérer la probabilité d'occurrence et en supposant l'absence de tout élément de sécurité afin de se préparer au scénario du pire. Ainsi, l'ensemble des scénarios majorant d'accidents technologiques induits par l'inondation ont été recherché.

3.2.3.3 Etape 3 : Maîtriser les risques

Cette troisième partie du diagnostic consiste à maîtriser le risque d'accidents technologiques induits par l'inondation en proposant des mesures de maîtrise de risque.

Dans le cadre de ce diagnostic, l'évènement dangereux à éviter et qui est à l'origine de l'accident technologique est l'évènement critique. Les mesures proposées consistent d'une part à éviter l'occurrence de cet évènement (diminuer sa probabilité) et, d'autre part, à réduire ses conséquences sur la cible finale qui est le voisinage de l'entreprise. Ainsi, deux types de mesures de maîtrise de risques (MMR) sont proposés:

- Des mesures de prévention, applicables à la partie « causes » des évènements critiques : Prévention avant l'occurrence de l'évènement critique. Ces mesures vont agir notamment sur les conséquences de l'aléa inondation au niveau de l'installation industrielle ;
- Des mesures de protection, applicables à la partie « conséquences » des évènements critiques : Protection de l'environnement après occurrence de l'évènement critique. Ces mesures quant à elle vont agir au niveau des conséquences de l'aléa technologique sur l'environnement.

Ainsi, cette étape du diagnostic est constituée de 4 fiches d'identification puis d'organisation des MMR de prévention et de protection. Cette étape du diagnostic ainsi que la cinquième se sont inspirées notamment sur le travail de (Mengual, 2005).

i) Fiche G « Choisir les Mesures de Maîtrise du Risque de prévention (applicable à la partie « causes » des dommages structuraux aux équipements critiques induits par l'inondation) » :

La fiche G consiste en la recherche des mesures de prévention en s'appuyant sur le catalogue de mesures de prévention proposé en parallèle du diagnostic.

La présentation des MMR de prévention du risque inondation dans le catalogue se base sur les stratégies de prévention du risque inondation présentées dans le chapitre 2. Ainsi, le catalogue a été divisé en plusieurs sous-catégories de MMR de prévention en adéquation avec ces stratégies. Les sous-catégories sont les suivantes :

1) **Mesures générales permettant d'éviter l'entrée de l'eau dans tout le bâtiment ou bien dans une salle particulièrement sensible :** Ces mesures permettent de limiter les dommages provoqués par les eaux d'inondation ou les débris externes à l'ensemble des équipements du site industriel ou situés dans une zone bien précise.
2) **Mesures générales permettant d'éviter les chocs par les structures de bâtiment et l'affouillement du sol :** Le but de ces MMR est de renforcer les structures du bâtiment là où il le faut pour éviter son effondrement.
3) **Mesures générales permettant d'éviter le contact de l'équipement avec les eaux d'inondation (en déplaçant l'équipement hors de la zone inondable ou bien en hauteur) :** L'idéal serait de pouvoir déplacer définitivement ou temporairement les équipements critiques, électriques, de contrôle et énergétique (surtout ceux nécessaires pour les équipements qui ont besoin d'être maintenus en marche pour des raisons de sécurité ou bien qui possèdent un temps d'arrêt supérieur au temps d'alerte) hors de la zone inondable. Ainsi, ces MMR proposent de déplacer les équipements situés en zone inondable, hors zone inondable ou en hauteur. Mais cela n'est pas toujours possible à cause du manque d'espace ou bien de la configuration de l'équipement. Pour cela, une série de MMR spécifique à l'équipement est proposée.
4) **Mesures générales permettant d'éviter le contact de chaque équipement avec les eaux d'inondation (pour les équipements qui sont gardés en zone inondable) :** Une liste de mesures applicables à l'ensemble des équipements est présentée. Le but de ces mesures est d'éviter le contact de chaque équipement avec les eaux d'inondation et les débris externes.
5) **Mesures de protection pour chaque équipement (pour les équipements qui sont gardés en zone inondable) :** Tout d'abord, une série de MMR est proposée pour les équipements critiques (et divisés en types d'équipements critiques).

Ensuite en fonction des proximités à l'équipement critique et ses dépendances, des séries de MMR sont proposées :

- MMR pour éloigner les équipements critiques (applicables dans le cas où l'équipement critique est à proximité d'autres équipements critiques) ;
- MMR pour les équipements non critiques (applicables dans le cas où l'équipement critique en question est situé à proximité d'équipements non critiques) ;
- MMR pour les équipements électriques (applicables dans le cas où l'équipement critique en question est situé à proximité d'équipements électriques) ;
- MMR pour les systèmes de contrôle (applicables dans le cas où l'équipement critique en question dépend de systèmes de contrôle et doit être maintenu en marche) ;
- MMR pour les systèmes énergétiques (applicables dans le cas où l'équipement critique en question dépend de systèmes énergétiques et doit être maintenu en marche).

Chaque mesure de prévention est présentée en utilisant le tableau 36dans le catalogue.

Tableau 36 : Format de présentation de chaque mesure de prévention dans le catalogue des MMR de prévention.

Mesure de Maîtrise de Risque	**Comportant le nom de la mesure**
Objectif de la mesure	Pour préciser le but de la mesure
La stratégie adoptée	Il s'agit des stratégies présentées ci-dessus
Pour quels Equipements ?	Cette partie du tableau permet de préciser à quels équipements industriels cette mesure peut-elle être appliquée
Pour quel type d'aléa ?	Il s'agit de préciser si la mesure s'applique à tout type d'inondation ou s'il existe des limites de son application par rapport aux caractéristiques de l'inondation
Mesure permanente ou d'urgence ?	C'est pour préciser s'il s'agit d'une mesure permanente ou bien d'une mesure temporaire d'urgence
Difficultés de mise en œuvre	Cette partie du tableau permet de préciser les limites d'adoption de la mesure

Le but de cette présentation est de guider la personne remplissant le diagnostic dans ses choix de MMR de prévention et d'adopter donc les mesures qui lui conviennent.

En effet**, le diagnostic est outil d'aide à la décision**. Il est donc du ressort de l'industriel possédant tous les éléments de décision nécessaires, de décider des investissements qu'il souhaite consacrer à la diminution de ses vulnérabilités au risque Natech inondation :

- L'exposition de ses activités au risque Natech inondation,
- Les conséquences potentielles de l'inondation sur son activité et son entourage,
- La nature des mesures permettant de réduire ces conséquences.

L'identification des mesures de prévention au niveau du site peut être effectuée dans le tableau 37 de la fiche G et qui va suivre la même division que le catalogue. **Le but étant de prévenir les dommages structuraux** pouvant être infligés aux équipements critiques présents sur le site industriel.

Tableau 37 : Extrait du tableau de la fiche G permettant d'identifier les MMR de prévention propre au site industriel en s'appuyant sur le catalogue proposé.

Mesures générales permettant d'éviter l'entrée de l'eau dans tout le bâtiment	
Mesures générales pour éviter l'entrée de l'eau dans une salle particulièrement sensible	
Salle en question	**Mesure**
Mesures générales pour éviter les chocs par les structures de bâtiment et l'affouillement du sol	
Pour chaque équipement critique	**Mesures**
	Mesures générales de déplacement
	Mesures générales pour chaque équipement
	Mesures propres aux équipements critiques
Proximité d'un équipement critique	**Mesures pour éloigner les équipements**
Proximité d'un équipement non critique	**Mesures pour les équipements non critiques**
Proximité d'un équipement électrique	**Mesures pour les équipements électriques**
Dépendance d'un système de contrôle	**Mesures pour les systèmes de contrôle**
Dépendance d'un système énergétique	**Mesures pour les systèmes énergétiques**

Le tableau 37 commence par des mesures générales : Mesures générales pour éviter l'entrée de l'eau dans le bâtiment, pour éviter l'entrée de l'eau dans une salle particulièrement sensible, pour éviter les chocs par les structures de bâtiment et l'affouillement du sol.

Ensuite la deuxième partie du tableau est consacrée à chaque équipement critique qui est pris à part. Chaque équipement critique est pris à part, et en fonction des réponses aux questions de la fiche D, il est possible de déduire les MMR correspondantes. En effet, chaque série de questions de la fiche D est reliée à une série de Mesures à partir de laquelle il est possible de choisir les mesures applicables à chaque cas.

Il est également précisé la possibilité d'intégrer aux Mesures de Maîtrise du Risque choisies, celles qui existent déjà sur le site industriel. Il est également conseillé dans la fiche G de mentionner entre parenthèses, pour chaque mesure identifiée, s'il s'agit d'une mesure de prévention permanente (MP) ou bien d'une mesure d'urgence (MU). Cela permettra d'organiser plus facilement le travail ultérieur de développement de plan d'urgence et de plan d'actions.

Une attention particulière doit aussi être portée à certaines mesures de prévention qui ont besoin d'utilités pour fonctionner telles que l'électricité. Ces cas de figures de pertes d'utilités ou bien même de défaillances causées par les eaux d'inondation doivent être pris en compte et mentionnés dans le plan d'urgence (qui sera développé dans une fiche ultérieure).

Une remarque importante est à avancer, il s'agit de l'absence de MMR propres aux effets dominos : choc par un élément de l'atelier, choc provoqué par une onde de pression, et les incendies et explosions. En effet, ces évènements sont prévenus en évitant le déplacement des équipements et en évitant la progression vers les incendies et les explosions.

ii) Fiche H « Choisir les Mesures de Maîtrise du Risque de protection (applicables à la partie « conséquences » des dommages structuraux aux équipements critiques induits par l'inondation » :

La fiche H permet de rechercher les mesures de protection applicables au cas du site industriel diagnostiqué. Ces mesures vont agir au niveau des conséquences des accidents technologiques induits par l'inondation du site sur l'environnement : Certaines vont permettre d'éviter la formation de l'accident technologique et d'autres vont agir pour limiter leur évolution afin de réduire leurs effets sur le voisinage de l'entreprise et sur l'industrie elle-même (effet domino).

Ainsi ces mesures peuvent être divisées en plusieurs sous-catégories :

- Mesures pour limiter la diffusion des substances dangereuses par les eaux d'inondation
- Mesures pour limiter la progression vers les incendies
- Mesures pour limiter la propagation et les effets des incendies
- Mesures pour limiter la progression vers la pollution de l'eau, de l'air et du sol
- Mesures pour limiter la propagation de la pollution de l'eau, de l'air et du sol
- Mesures pour limiter la progression vers les explosions
- Mesures pour limiter la propagation et les effets des explosions

En fonction des réponses aux questions de la fiche E, il est possible d'identifier pour chaque équipement critique, les conséquences potentielles et ensuite les sous-catégories de MMR qui s'appliquent à chaque cas.

Afin d'identifier les MMR de protection qui s'appliquent à chaque équipement critique, il est proposé de compléter le tableau 38 qui reprend les sous-catégories citées ci-dessus. Quelques exemples de MMR de protection y sont également présentés.

Or, plusieurs MMR de protection existent déjà au sein d'une installation industrielle pour faire face à un accident technologique d'origine interne (obligation dans la règlementation ICPE). Ainsi, pour être le plus exhaustive possible, il est possible de compléter le tableau avec les mesures déjà adoptées au sein de l'établissement (pour chaque équipement critique identifié). Mais il convient en revanche de s'assurer que les mesures déjà implantées ne sont pas défaillantes suite au contact avec les eaux

d'inondation ou bien en cas de pertes d'utilités provoqués par l'inondation (évènements caractéristiques des accidents Natech inondation) pour se rendre compte de ces défaillances et réfléchir à d'autres solutions.

Aussi, il est également conseillé dans la fiche H de distinguer entre parenthèses les MU des MP pour faciliter l'organisation des mesures dans les PU et PA.

Tableau 38 : Tableau proposé dans la fiche H pour l'identification des MMR de protection au niveau du site industriel diagnostiqué.

Equipements concernés	**Types de mesures**	**MMR proposées (technologique classique)**	**Défaillance en cas de contact avec les eaux d'inondation ou en cas d'absence d'utilités**
Mesures pour limiter la progression aux incendies			
Equipement critique : réservoir de stockage et réacteur	MU/Mesure définitive	Eloigner les équipements critiques contenant des substances inflammables d'autres équipements critiques présentant la possibilité d'incendie ou d'explosion et de toute autre source d'onde de chaleur (équipements électriques) d'une distance de plus de 50m	
	MU/Mesures d'urgence	Diluer le mélange de substances inflammables rejetées : système de ventilation, rideaux de vapeur ou d'eau, avec un matériau d'extinction ou un liquide de vaporisation	Oui en cas de pertes d'utilités
équipement électrique	MP/Implantation	Utilisation d'équipement électrique à sécurité intrinsèque dans les zones où les rejets de gaz ou vapeurs inflammables peuvent se produire.	
	MP/Implantation	Utilisation de détecteur de gaz et d'alarmes	Oui en cas de pertes d'utilités
	MU/Mesures d'urgence	Système de ventilation pour diluer les rejets de gaz inflammables dispersés	Oui en cas de pertes d'utilités

iii) Fiche I « Organiser les mesures temporaires dans un plan d'urgence spécifique aux accidents technologiques induits par l'inondation » :

Après avoir sélectionné toutes les mesures de prévention et de protection, il faudra choisir celles qui ont été classées comme des mesures d'urgence et les organiser dans un plan d'urgence.

En effet, une analyse du document de l'INERIS (Prévot, n.d.) a démontré que « lors d'une inondation, la simultanéité des événements contraint à traiter les barrières d'un point de vue systémique et non de manière segmentée, comme dans le cas d'une analyse de risque classique où les barrières sont étudiées séquence accidentelle par séquence accidentelle ». Ces observations font ressortir l'importance déterminante de réaliser un plan d'intervention inondation, qui donne une vision coordonnée des moyens de prévention et de protection. C'est ce qui a été proposé dans le cadre de ce

diagnostic, qui permet par l'intermédiaire de la fiche I d'organiser les mesures d'urgence Natech inondation identifié dans un plan d'urgence spécifique Natech inondation. Ce plan d'urgence permet également par les précisions fournies par la fiche I de considérer les aspects uniques d'un accident Natech inondation et dont les facteurs spécifiques par rapport au plan d'urgence sont présentés dans (Cruz et al., 2004)

La fiche I présente certains éléments qui ont été jugés essentiels à être pris en compte dans l'élaboration d'un plan d'urgence (étape avant la crise) (Mengual, 2005) (Ledoux, 2000) (Wells, 1997) (GSC MEDDE, 2007) dont l'objectif final est de:

« Organiser les actions à mener afin de se préparer à la crise et définir le rôle des membres de l'équipe d'intervention ».

Elle met le point également sur les mesures techniques d'urgence qui ont été identifiées dans les fiches G et H et la manière de les intégrer dans le plan (étape pendant la crise).

Enfin elle présente certaines mesures qui doivent être adoptées après l'inondation (étape après la crise).

Ainsi, en plus des mesures techniques d'urgence identifiées dans les fiches G et H, la présente fiche I propose des mesures organisationnelles d'urgence que l'industriel peut adopter dans le cadre de son plan d'urgence.

Etape d'élaboration du plan d'urgence :

- Le plan d'urgence spécifique aux accidents technologiques induits par l'inondation, doit être un document opérationnel détaillant les actions qui doivent se dérouler ainsi que le rôle de l'équipe d'intervention.
  Les actions qui doivent se dérouler ne sont autres que les mesures d'urgence identifiées dans les fiche G et H.
- Le plan doit désigner une cellule de crise, un responsable d'opérations et une équipe d'intervention bien choisis. Certains employés peuvent être indisponibles en cas de sinistre ayant les biens propres affectés par l'inondation ou dont l'accès à l'entreprise peut être difficile.
- Le plan d'urgence doit contenir toutes les informations nécessaires lors de l'inondation. Ces informations doivent être continuellement mises à jour telles que les coordonnées téléphoniques des personnes faisant parties d'une groupe d'intervention ou les coordonnées téléphoniques de la société de location des engins de levage servant à déplacer les équipements situés en zone inondable.
- Le plan doit décrire comment maintenir une veille vis-à-vis de l'évolution des caractéristiques de l'inondation. En effet, la consultation régulière de la météo en période sensible permet de se tenir régulièrement informé des messages d'alerte afin de laisser un temps de réaction suffisant pour mettre en place efficacement ces mesures.
- Il doit également préciser la disponibilité des éventuels moyens d'urgence (stocks de sable, batardeaux…) : il est utile de souligner l'intérêt de disposer de moyens d'intervention propres (pompes, groupes électrogènes, canot de sauvetage...) car en période d'inondation, les services de secours sont engagés prioritairement dans l'assistance aux populations.
- Le plan d'urgence doit s'articuler avec les autres documents d'urgence internes, s'il en existe, tels que le POI.

- Ce plan d'urgence doit être mis à jour régulièrement surtout suite à des modifications importantes de l'activité, un enrichissement de retour d'expériences suivant un épisode d'inondation ou des exercices d'urgence qui permettent de tester régulièrement le plan.

Etape pendant la crise :

Il s'agit d'appliquer les mesures définies dans le plan d'urgence, qui ne sont autres que les mesures d'urgence identifiées dans les fiche G et H.

Sans prétendre à l'exhaustivité, ces mesures de prévention et de protection peuvent inclure:

- Installer les systèmes d'obturation prévus,
- Déplacer les équipements dans les endroits définis,
- Protéger les équipements qui ne peuvent pas être déplacés,
- Fermer les vannes manuelles sur les réseaux d'assainissement,
- Remplir les cuves de stockage,
- En cas de rejets de substances dangereuses, prendre les mesures adéquates,
- En cas de dégagement de gaz toxiques, prendre les mesures identifiées…

Il est intéressant de prendre en compte, dans le plan d'urgence, la possibilité d'absence d'utilités en cas d'inondation et sa répercussion sur les mesures d'urgence. Egalement il ne faut pas oublier la possibilité de défaillance de mesures d'urgence de prévention et de protection (surtout celles qui ont comme objectif initial la prévention des accidents technologiques classiques dans le cadre de la réglementation ICPE) touchées par les eaux d'inondation (exemple : possibilité d'accès du personnel d'urgence limité pour l'atteinte d'une zone par les eaux d'inondation).

Il ne faut pas oublier de considérer aussi les équipements qui ne peuvent pas être mis en arrêt étant nécessaire à la sécurité d'autres équipements, ainsi que les équipements dont le temps d'arrêt est supérieur au temps d'alerte.

Il existe d'autres mesures d'urgence qui peuvent être proposées dans le cadre de la réflexion sur l'élaboration du plan d'urgence permettant de bien organiser la situation d'urgence. Ces mesures ne sont pas nécessairement identifiées dans les fiches G et H, mais peuvent toutefois être prises en parallèle. Il s'agit de mesures d'urgence organisationnelles. A titre d'exemple :

- Désigner un responsable chargé de surveiller la montée des eaux ;
- Réfléchir à faciliter l'intervention des secours et à assurer la sécurité du personnel en signalant les cheminements, les bouches d'égouts, les points bas tels que les bassins de rétention et d'interdire l'accès à certains secteurs ;
- Prévoir des moyens de communication de substitution tels que radios, systèmes d'alarme, téléphones ;
- arrêt d'urgence de l'activité et coupure de l'électricité sur l'ensemble du site si possible,
- déstockage des principaux réacteurs de production et des canalisations si possible, interruption des transferts de produits…

Etape du retour à la normale :

Consiste à appliquer des mesures également prédéfinies dans le plan d'urgence afin de faire le nécessaire pour redémarrer l'activité. Certaines de ces mesures peuvent être :

- nettoyer et sécher les équipements (en faisant appel éventuellement à des sociétés spécialisées - actions de l'assureur),
- pomper l'eau stagnante et vérifier la teneur de ces eaux avant rejet,
- Dépolluer l'eau avant son rejet dans le cas où elle a été polluée,
- dégager les débris en les stockant dans un site confiné ; nettoyer les bâtiments, en stockant les eaux et les boues dans un site confiné ;
- prévoir la mise en décharge des débris et la mise en station de traitement des boues, après avis éventuel de la DRIRE si nécessaire ;
- vérifier et maintenir les systèmes de protection contre l'incendie,
- Vérifier l'état des autres mesures de prévention et de protection techniques et les remettre en état là où il faut,
- ne remettre progressivement les réseaux électriques qu'après vérification par du personnel compétent,
- vérifier l'état des stockages de substances dangereuses, les sécuriser,
- trier les stocks, matériels et équipements récupérables,
- assurer l'élimination des déchets, avec une attention particulière à tous ceux qui devraient faire l'objet d'un traitement particulier autre que la mise en décharge,
- effectuer un rapport d'accident et noter les détails des causes, des conséquences…des accidents technologiques induits par l'inondation, et garder des registres tels que des photos,
- trier les enseignements sur les conséquences du sinistre, les mesures de prévention : efficacité de celles qui ont été prises, identification de celles qui auraient pu être prévues, le plan d'urgence et sa mise en œuvre. Il s'agit d'organiser un véritable retour d'expérience pour en tirer des enseignements en termes d'amélioration de la prévention de la gestion de crise et post-crise.

iv) Fiche J « Organiser les mesures permanentes dans un plan d'actions » :

Après avoir sélectionné toutes les mesures de prévention et de protection, il faudra choisir celles qui ont été classées comme des mesures permanentes et les organiser dans un plan d'actions.

Pour cela, il est préconisé de remplir le tableau 39 de la fiche J qui comporte une partie sur les mesures déjà existantes au sein de votre installation (permettant de les lister) et une autre partie sur les mesures à adopter pour réduire le risque d'accidents technologiques induits par l'inondation. Pour cette deuxième partie, il faut essayer de prioriser les actions qui portent sur les évènements potentiels jugés les plus critiques.

Pour les mesures permanentes, il faut être attentif aux mesures de protection qui sont déjà existantes dans l'installation industrielle pour faire face aux accidents technologiques classique. Pour pouvoir considérer qu'elles sont également utilisables dans le cas de l'inondation de l'entreprise, il faut réfléchir à la possibilité de défaillance suite au contact avec les eaux d'inondation ou bien en cas de pertes d'utilités engendrés par l'inondation.

Tableau 39 : Tableau de la fiche J pour organiser les mesures permanentes identifiées.

Mesures permanentes existantes dans l'installation industrielle					
Intitulé de la mesure	**Types de mesures :**		**Période**		**Budget (coût de la mesure)**
	De prévention	**De protection**			
Mesures permanentes à adopter					
Intitulé de la mesure	**Types de mesures :**		**Période**		**Budget (coût de la mesure)**
	De prévention	**De protection**			

3.2.3.4 Etape 4 : Suivre la maîtrise des risques

Cette dernière étape est constituée d'une seule fiche, la dernière, K intitulée « Suivi de la mise en place des mesures permanentes ».

Elle permet de suivre régulièrement la mise en place des mesures permanentes planifiées.

Pour cela, il est préconisé de remplir le tableau 40 qui permettra de noter si la mesure a bien été réalisée. Si elle a été abandonnée, il est possible d'y inscrire le motif. Enfin, la dernière colonne propose si nécessaire d'organiser à nouveau la mise en place de la mesure ayant été abandonnée.

Tableau 40 : Tableau proposé dans la fiche K pour suivre la mise en place des mesures permanentes identifiées.

Intitulé de la mesure	**Date de réalisation**	**La mesure est-elle en place ?**			**Motif de l'abandon**	**Nouvelle période de réalisation**
		Oui	**Non**	**Abandon**		

Une première mesure à mener en priorité est l'élaboration du plan d'urgence spécifique aux accidents technologiques induits par l'inondation du site. Ensuite, après la mise en place, de quelques mesures permanentes et du plan d'urgence, il serait intéressant de reprendre la partie 2 du diagnostic afin d'évaluer concrètement les progrès réalisés: est-ce que des scénarios d'accidents ont été évité suite à l'adoption de ces mesures ?

Cette dernière étape du diagnostic permet donc de répondre au principe PDCA (Plan-Do-Check-Act) tout en suivant régulièrement la mise en place des mesures permanentes.

Conclusion du chapitre 3

La première partie du chapitre 3 a permis de valider la complétude des scénarios génériques pour le secteur du traitement de surface. Néanmoins, afin d'asseoir la validation des scénarios

génériques Natech inondation, il faudrait effectuer le même exercice dans d'autres secteurs d'activité. Cela permettra de valider la généricité des scénarios (complétude dans divers secteurs d'activités).

La deuxième partie du chapitre 3 a permis, quant à elle, de valider la complétude et la plausibilité des scénarios génériques à l'échelle de deux industries de traitement de surface situées en zone inondable (validation spécifique) suite à des discussions avec les industriels (a priori) et suite à l'analyse de REX d'inondation dans l'une de ces deux entreprises (a posteriori).

En plus de la validation spécifique des scénarios, cette partie du chapitre 3 a permis d'effectuer une première validation de notre quatrième hypothèse de recherche en recueillant le retour des industriels quant aux scénarios proposés sous forme de nœuds papillons. Nos interlocuteurs industriels ont trouvé que les nœuds proposés peuvent ne pas être évidents à l'utilisation, et préfèrent plutôt un outil de diagnostic simple d'utilisation, sous forme de questionnaire, pour évaluer leur vulnérabilité vis-à-vis des accidents Natech inondation. Ainsi, la troisième partie du chapitre 3 a porté sur la présentation de l'outil de diagnostic de vulnérabilité en se basant sur la méthodologie de gestion de risques antérieurement développée.

L'outil de diagnostic ainsi élaboré, la dernière partie du manuscrit portera sur son application à un site industriel bien précis, afin de juger de sa perception par les industriels et d'effectuer les dernières améliorations de l'outil proposé. Cette application servira également à valider nos hypothèses restantes formulées (H1, H2 et H3).

Chapitre 4. Application du diagnostic au niveau d'une entreprise et enseignements tirés

Chapitre 4. Application du diagnostic au niveau d'une entreprise et enseignements tirés

Ce dernier chapitre présente l'application de l'outil de diagnostic développé dans le chapitre 3 au niveau d'une entreprise du secteur de l'agro-alimentaire dans le but d'effectuer d'une part, une première généralisation de la méthodologie développée à un autre secteur d'activité (ce qui sert à renforcer la généricité de l'approche méthodologique adoptée) et d'autre part, de vérifier la cohérence et la pertinence de la méthode de diagnostic. Ainsi, cette expérimentation pourra apporter des améliorations notables susceptibles de rendre l'outil plus pertinent par rapport aux besoins des industriels.

Ce chapitre commence tout d'abord, par la présentation de l'entreprise qui a servi comme objet d'expérimentation (partie 4.1). Ensuite, le déroulement de cette expérimentation est présenté (partie 4.2). Dans un troisième temps, le processus d'évaluation du mode opératoire de la méthode d'autodiagnostic, par l'intermédiaire d'un questionnaire de satisfaction, est décrit (partie 4.3). Enfin, les principaux résultats obtenus suite à cette analyse sont présentés : accueil de l'outil, compréhension globale, intérêts pour l'industriel (partie 4.4), apports à l'amélioration de l'outil (partie 4.5), etc.

4.1 Présentation de l'entreprise d'application

- Interlocuteurs industriels : Responsable sécurité et responsable environnement.

L'entreprise X est une usine du secteur de l'agro-alimentaire située dans la Loire (42). Elle a pour activité principale l'embouteillage et le conditionnement d'eau minérale. L'entreprise produit également ses propres bouteilles PET (Polytéréphtalate d'éthylène) à partir de préformes PET.

L'entreprise X se situe au bord d'un affluent direct de la Loire. L'affluent est une rivière caractérisé par des crues historiques de type torrentielle (HTV, 2012), qui peuvent être provoqués par des remontées cévenoles (HTV, 2012), inondations provoquées par des orages violents et localisés s'accompagnant de fortes pluies. L'extrait du PPRI du bassin versant correspondant à cet affluent de la Loire, présenté dans la figure 63, montre qu'une partie de l'entreprise X est située en zone inondable, avec un aléa inondation fort (vitesse supérieure à 0,5 m/s et hauteur d'eau supérieure à 1 m).

La figure 64 présente un plan de masse simplifié de l'entreprise X et les différentes parties de l'entreprise situées en zone inondable.

L'entreprise X a connu plusieurs inondations : durant le printemps de l'année 1983, en décembre 2003 et la dernière en novembre 2008. Les détails du REX de cette dernière inondation sont présentés dans ce qui suit.

Des pluies cévenoles se sont abattues sur le bassin versant de l'affluent en question de la Loire les 1er et 2 Novembre totalisant un cumul de l'ordre de 92 mm en 16h. L'impact de ces précipitations a été accentué par des sols déjà saturés en eau du fait de fortes précipitations survenues avant cet évènement durant le mois d'octobre 2008.

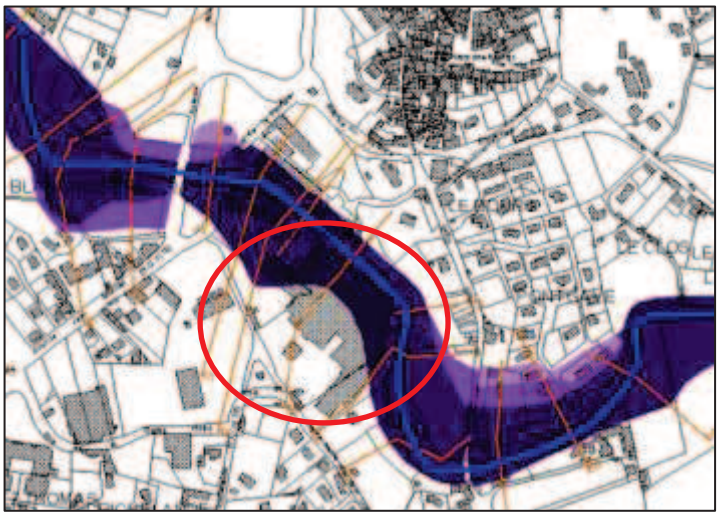
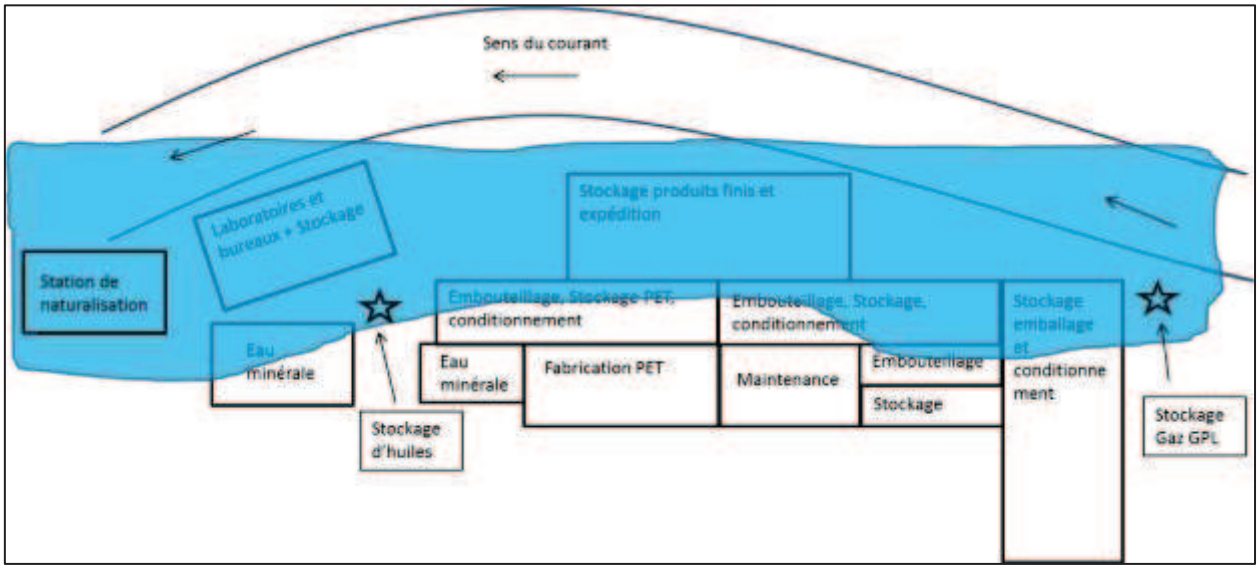


Figure 63 : Extrait du PPRI du bassin versant de l'affluent de la Loire pour la commune où se situe l'entreprise X.



Zone inondable au niveau du site de l'entreprise

Figure 64 : Plan de masse de l'entreprise X.

L'inondation du 2 Novembre 2008 a touché l'entreprise X sans provoquer d'accidents technologiques, grâce à certaines mesures préventives déjà adoptées. Toutefois, quelques presque-accidents ont été observés, ce qui a incité l'industriel à prendre des mesures de prévention :

- Flottage d'une cuve de stockage d'acide sulfurique provoquant l'endommagement de son contenant (qui pouvait évoluer à une brèche) et le pliage de tuyauteries qui lui sont reliées. Suite à l'inondation, la cuve a été remplacée par une neuve. Cette dernière a été placée en hauteur en mesure de prévention ;
- Déformation d'une cuve d'éluats de soude (qui pouvait évoluer à une brèche). Suite à l'inondation, la cuve a été remplacée par une neuve. Cette dernière a été placée en dehors de la zone inondable ;

- Entrée de l'eau d'inondation dans une cuve de stockage d'acide nitrique. Par contre, l'eau mélangée à l'acide n'est pas ressortie de l'équipement, ce qui a évité la pollution. Suite à l'inondation, le mélange (eau + boues+ acide) a été vidé puis traité.

D'autres types de dégâts ont été également observés tels que : dommages immobiliers (bâtiment, passerelle, fondations, mur de protection), dommages aux équipements, aux matières premières et aux produits finis (figure 65). Cela a nécessité l'arrêt de l'activité pour une durée d'une semaine, une perte d'exploitation et des coûts imputables au nettoyage du site et des équipements industriels touchés.

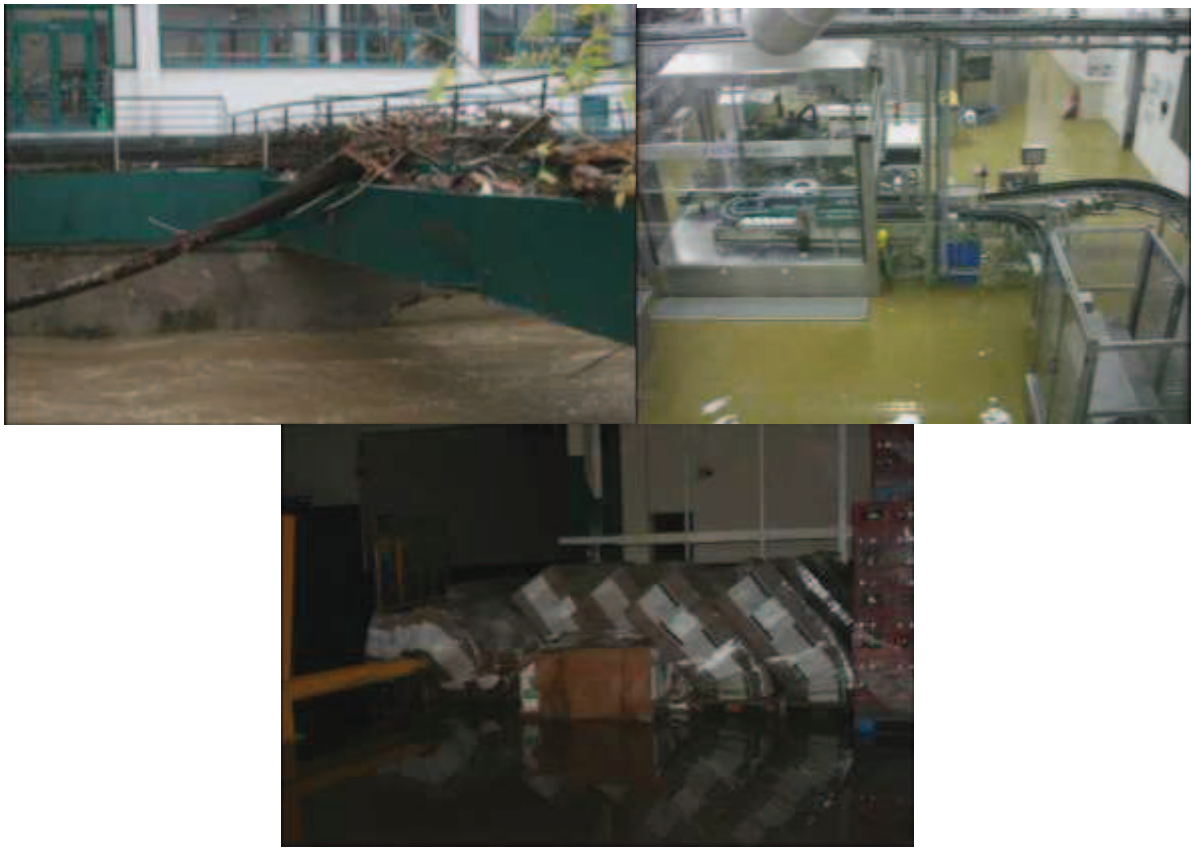


Figure 65 : Photos de dégâts observés à l'extérieur et à l'intérieur du site de l'entreprise X lors de l'inondation du 2 Novembre 2008.

4.2 Déroulement de l'expérimentation

L'application du diagnostic via le questionnaire s'est effectuée au cours d'une réunion avec nos interlocuteurs industriels. Le remplissage des onze fiches (fiches de A à K) a duré deux heures et demi, mais il faut toutefois noter que nous étions présents pour l'explication du mode d'emploi du diagnostic et du contenu des différentes fiches en question.

4.2.1 Prise de connaissance du type d'inondation menaçant le site- Fiche A

Nos deux interlocuteurs industriels sont bien informés sur le risque inondation et l'un d'entre eux a même vécu les trois inondations du site industriel. Ainsi, le remplissage de la fiche A du diagnostic n'a pas nécessité des recherches lourdes d'informations. Il est également intéressant de noter que le PPRI propre à la commune où se situe l'entreprise est actuellement en cours de développement ; donc

les informations qui ont été remplies dans le diagnostic ne sont pas basées sur des sources règlementaires mais plutôt sur le REX d'inondations.

L'entreprise X est susceptible d'être touchée par un seul type d'inondation, le débordement de cours d'eau. Une inondation « interne » par remontée d'eau par les réseaux, qui est une conséquence du premier type d'inondation, peut également être observée.

Les informations qui vont être présentées dans la suite sont basées sur le scénario majorant d'inondation qui a été observé jusqu'à présent au niveau du site afin de se préparer au pire scénario.

- La hauteur de submersion sur le terrain naturel est de 1,5m. A l'intérieur des différents bâtiments (figure 64) situés en zone inondable, les hauteurs de submersion sont respectivement :
  - Bâtiment « Laboratoires et bureaux + Stockage » : 3m ;
  - Bâtiments « Stockage produits finis et expédition » et « Embouteillage, stockage PET, conditionnement » : 60cm ;
  - Bâtiment « Station de neutralisation » : 1m.
  - Pour les zones de stockage d'huile et de la cuve de gaz GPL : 1m.
- Vu les dommages observés lors de l'inondation de novembre 2008 (charriage de bouteilles de gaz…), il est possible de déduire que la vitesse de courant est supérieure à 0,5m/s.
- Les eaux d'inondation qui peuvent touchées l'entreprise sont caractérisées par une turbidité importante ; elles peuvent contenir des quantités importantes de débris externes charriés par les eaux.

En ce qui concerne les paramètres caractérisant la prise de mesures de prévention :

- le délai d'alerte est de de l'ordre de 3h. C'est la mairie de la commune en question qui est en charge de contacter le site pour les informations de l'inondation en amont. Ainsi, la mise en place de l'ensemble des mesures d'urgence a été organisée en sorte qu'elles soient placées pendant 3h ;
- la durée de montée des eaux est estimée à une durée inférieure à 5h.

Les zones inondables et non inondables du site, pouvant servir de zones de repli en cas d'inondation, ont été préalablement identifiées. Les résultats sont présentés dans la figure 64.

4.2.2 Identification des équipements critiques situés en zone inondable- Fiche B

L'idée étant d'identifier les équipements industriels visés par la règlementation des installations classées ET situés en zone inondable du site, la fiche B commence tout d'abord, par la réalisation d'un schéma fonctionnel de l'entreprise (figure 66).

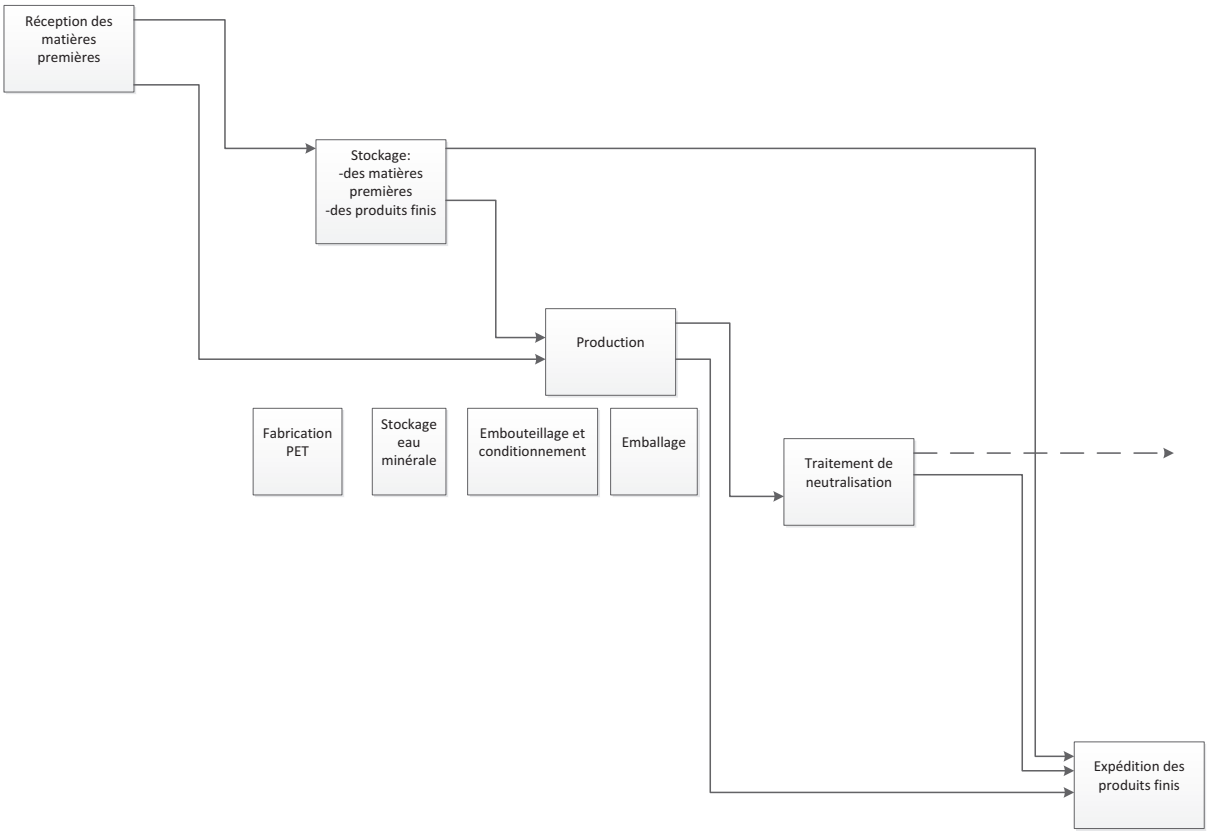


Figure 66 : Schéma fonctionnelle de l'entreprise X.

Le but de cette modélisation fonctionnelle est d'effectuer un « brain storming » permettant de se remémorer, d'une manière exhaustive, les équipements industriels du site.

Ensuite, il convient de rechercher lesquels de ces équipements sont visés par la règlementation ICPE. En effet, l'entreprise X est classée ICPE non Seveso. Les équipements industriels pris en compte pour son classement sont présentés dans le tableau 41.

Ainsi, dans l'entreprise X, un seul équipement pris en compte dans la classification correspond à la typologie des équipements critiques considérés dans ce travail de recherche. Il s'agit du stockage du liquide inflammable (rubrique 1432.2). En effet, une des limites de la méthodologie est de prendre en compte uniquement les équipements classifiés ICPE ; et une autre est de ne prendre que les équipements atmosphériques (conditionnés à pression et température atmosphériques).

Mais toutefois, d'autres équipements industriels contenant des substances dangereuses sont présents sur le site. Il s'agit :

- d'équipements contenant des substances dangereuses et faisant partie de la typologie d'équipements de ce travail sans être classifiés ICPE,
- et d'équipements classifiés ICPE mais ne faisant pas partie de la typologie d'équipements de ce travail de recherche.

Dans le cadre de cette expérimentation, nous avons choisi d'élargir le spectre des équipements et nous avons pris en compte l'ensemble des équipements industriels contenant des substances chimiques dangereuses.

Tableau 41 : Installations classées au sein de l'établissement X (Source : Arrêté préfectoral d'autorisation d'exploitation de l'entreprise).

Rubri. IC	Ali.	Date auto.	Etat d'activité	Rég.	Activité	Volume	Unité
1412		26/12/2000	En fonct.	NC	Gaz combustible liquéfiés (GPL) avec Q<6t	3000	kg
1432	2	26/12/2000	En fonct.	NC	Liquide inflammable (stockage) < 10 m3	5	m3
1530	2	26/12/2000	En fonct.	D	Bois, papier, carton ou analogues (dépôt de) hors ERP	1790	m3
2253	1	26/12/2000	En fonct.	A	Boissons (préparation, conditionnement) bières, jus de fruit, autres	200000	L/j
2254	1	26/12/2000	A l'arrêt	A	Eaux minérales, de source, de table (conditionnement)	1000000	L/j
2661	1a	26/12/2000	En fonct.	A	Matières plastiques, caoutchouc …(emploi ou réemploi)	45	t/j
2661	2b	26/12/2000	En fonct.	D	Matières plastiques, caoutchouc …(emploi ou réemploi)	2	t/j
2662	b	26/12/2000	En fonct.	D	Matières plastiques, caoutchouc … (Stockages de)	440	m3
2663	2a	26/12/2000	En fonct.	A	Pneumatiques, produits avec polymères>50%(stockage)	72650	m3
2910	a2	26/12/2000	En fonct.	D	Combustion, Consommation de combustibles avec puissance thermique entre 2 MW et 20MW	3 chaudières de 6,502	kW
2920	2a	26/12/2000	En fonct.	A	Réfrigération ou compression (installation de) pression >10E5 Pa	3410,500	kW
2925		26/12/2000	En fonct.	D	Accumulateurs (Ateliers de charge d')	74,500	kW

Ces équipements ont été croisés avec les zones inondables et les zones de repli du site identifiées dans la fiche A afin de retrouver ceux situés en zone inondable.

Ainsi, les équipements industriels de l'entreprise X considérés comme critiques (vis-à-vis des accidents technologiques induits par l'inondation) ET situés en zone inondable dans le cadre de cette expérimentation sont présentés dans le tableau 42.

La troisième étape de la fiche B est d'identifier les proximités des équipements critiques et leurs dépendances aux autres équipements industriels. La plupart des équipements critiques identifiés sur le site en question ne dépendent pas de systèmes de contrôle (sauf pour les cuves de CO_2 et cuve GPL sous pression qui sont reliées à une unité de Gestion Technique Centralisée pour les reports d'alarmes, qui est située hors zone inondable), ni de systèmes de chauffage et de refroidissement. Aussi, ces équipements critiques, ne sont pas situés à proximité d'équipements électriques et sont éloignés les uns des autres. Par contre, vu la vitesse et la turbidité élevées des eaux d'inondation, **les dangers les plus importants quant aux dommages structuraux potentiels aux équipements critiques sont : les débris externes contenues dans les eaux et les objets de l'industrie pouvant être charriés par les eaux.**

Tableau 42 : Equipements industriels pris en compte dans le cadre de cette expérimentation.

Groupes d'équipements	Equipements identifiés dans le site industriel	Substances concernées	Groupes de danger associés (inflammable, toxique, réagissant avec l'eau, réagissant avec la chaleur et autres sources d'ignition)
Réservoir de stockage	-Réservoirs d'huiles	-Huiles inflammables	-Inflammable
	-Réservoir de stockage d'acide nitrique	-Acide nitrique	-Toxique
	-Réservoir de stockage d'acide sulfurique	-Acide sulfurique	-Toxique, Réagit avec l'eau
	-Cuves de CO_2 (sous pression)	- CO_2	-Toxique (exposition des employés avant la diffusion dans l'atmosphère)
	-Cuve de GPL (sous pression)	-GPL (propane, butane)	-Toxique, Réagit avec l'incendie
Canalisations	-Canalisations reliées à la station de naturalisation	-Effluents basiques	-Toxique

4.2.3 Identification des évènements critiques potentiels- Fiche C

Les différents évènements critiques, par équipement critiques, identifiés dans le cadre de ce travail d'expérimentation sont présentés dans le tableau 43.

Tableau 43 : Evènements critiques classés en fonction des équipements critiques.

Equipements critiques identifiés dans le site industriel	Evènements critiques potentiels induits par les eaux d'inondation
-Réservoirs d'huiles	-Brèche du contenant -Renversement de l'équipement
-Réservoir de stockage d'acide nitrique	-Brèche du contenant -Renversement de l'équipement -Noyage de l'équipement
-Réservoir de stockage d'acide sulfurique	-Brèche du contenant -Renversement de l'équipement
-Cuves de CO_2 (sous pression)	-Brèche du contenant -Renversement de l'équipement
-Cuve de GPL (sous pression)	-Brèche du contenant -Renversement de l'équipement
-Canalisations reliées à la station de naturalisation	-Rupture de canalisations

4.2.4 Construction des scénarios d'accidents technologiques induits par l'inondation, spécifique au site X- Fiche D, E et F

En répondant aux différentes questions des fiches D et E (accompagnées de numéros de scénarios génériques), et en fonction des réponses obtenues il a été possible de construire les scénarios d'accidents technologiques induits par l'inondation propres à l'entreprise X.

Pour illustration et pour ne pas alourdir le manuscrit, nous présentons dans ce qui suit les réponses aux questions des fiches E et D pour l'évènement critique « Brèche du contenant » de l'équipement critique « Cuve de stockage GPL » et les scénarios d'accidents relatifs obtenus. Aussi, nous avons choisi cet exemple précis comme il a représenté le sujet de préoccupation primordiale de nos interlocuteurs industriels et vu qu'il nous permettra d'expérimenter notre méthode sur les équipements industriels sous-pression.

4.2.4.1 Analyse des causes potentielles d'une brèche de la cuve de stockage GPL

Comme il a été mentionné antérieurement, les potentiels dangers encourus par les équipements critiques sont les dommages provoqués par les débris externes contenus dans les eaux et les objets de l'industrie pouvant être charriés par les eaux. Ainsi, il convient de remplir uniquement les questions associées de la fiche D (les cases de réponses non hachurées correspondent aux cas de figures applicables dans l'entreprise X ; alors que celles qui sont hachurées ne correspondent pas au cas de l'entreprise X).

Contact entre l'équipement critique et les eaux d'inondation :

Est-ce que l'aléa inondation menaçant l'équipement présente une intensité d'inondation importante (Vitesse>0,2m/s et Hauteur>0,5m- scénario de référence fiche A) pouvant être responsable de l'emportement ou la flottaison de l'équipement critique? (A1-4) (MMR 27, 28, 29, 30, 32, 33, 34, 37, 38, 39)		
	Si oui	**Possibilité de brèche due à l'emportement et à la flottaison**

Est-ce que l'aléa inondation menaçant l'équipement présente une vitesse importante (Vitesse>0,2m/s- scénario de référence fiche A) pouvant être responsable de l'affouillement du sol et par la suite l'atteinte aux fondations de l'équipement? (A3) (MMR 21, 22)		
Si oui	Est-ce que la nature géologique du sol sur lequel est implantée votre entreprise est susceptible d'affouillement ?	
	Si oui	**Possibilité de brèche due à l'affouillement du sol**

Est-ce que les eaux d'inondation peuvent contenir des quantités importantes de débris susceptibles de provoquer des dommages à l'équipement critique en question? (réponse fiche A) (A2) (MMR 31)	
Si oui	**Possibilité de brèche due aux débris externes**

Proximité d'un autre équipement industriel (classé en tant qu'équipement critique ou non) :
Répondre à cette série de questions uniquement dans le cas où l'équipement critique est à proximité d'un autre équipement industriel

Est-ce que l'aléa inondation menaçant l'équipement présente une intensité d'inondation importante (Vitesse>0,2m/s et Hauteur>0,5m- scénario de référence fiche A) pouvant être responsable de l'emportement ou la flottaison de l'équipement à proximité de l'équipement critique en question ? (A511-531) (MMR 27, 28, 29, 30, 42, 43, 44, 45, 46)		
	Si oui	**Possibilité de brèche par déplacement d'un équipement industriel à proximité** Plus précisément, bennes de bouteilles plastiques situées à proximité

Est-ce que les eaux d'inondation peuvent contenir des quantités importantes de débris susceptibles de provoquer le déplacement de l'équipement à proximité et par la suite un choc avec l'équipement critique en question? (réponse fiche A) (A512-532) (MMR 31)	
Si oui	**Possibilité de brèche par déplacement d'un équipement industriel à proximité par des débris externes**

4.2.4.2 Analyse des conséquences potentielles d'une brèche de la cuve de stockage GPL

En fonction des groupes de danger correspondant au GPL (tableau 42), la suite de l'application consiste à identifier les conséquences potentielles du rejet de la substance suite à la brèche de son contenant. Pour cela, il convient de répondre aux questions de la fiche E correspondantes aux groupes de danger relatifs à la substance rejetée comme présenté dans la suite (les cases de réponse non hachurées correspondent aux cas de figures applicables dans l'entreprise X ; alors que celles qui sont hachurées ne correspondent pas au cas de l'entreprise X).

Pour les équipements critiques contenant des substances inflammables : *Répondre à cette série de questions uniquement dans le cas où l'équipement critique contient une substance chimique inflammable*

Mesures pour limiter la progression aux incendies + Mesures pour limiter la propagation et les effets des incendies

L'équipement en question est-il situé à proximité (50m) de l'une de ces sources d'ignition: équipement critique, équipement électrique, canalisations de transport de chaleur ?		
Non	**Possibilité de combustion immédiate de la substance inflammable rejetée sous forme de feu de nappe** (D'11)	
Si non	Les gaz dispersés sont-ils sujets à une ignition retardée suite à la présence d'une source d'ignition potentielle à proximité de l'équipement critique ?	
	Non	**Possibilité de génération d'explosion ou d'incendie** (ceci dépend de la nature de la substance en question) (D'12)
	Si non	**Possibilité de rejets de substances provoquant des pollutions de l'air/de l'eau/du sol**

L'équipement électrique le plus proche de la cuve de stockage GPL est le coffret de commande propre à l'équipement. Or, ce coffret est situé suffisamment loin, hors zone ATEX (zone liée à la présence d'ATmosphère EXplosive). C'est pour cela que nous avons écarté le scénario d'explosion ou d'incendie (D12) qui peut être déclenché suite à la proximité d'une source d'ignition, ainsi que le

scénario de BLEVE, scénario caractérisant les substances gazeuses en cas d'incendie provoqué à proximité de leur contenant.

Pour les équipements critiques contenant des substances toxiques : *Répondre à cette série de questions uniquement dans le cas où l'équipement critique contient une substance chimique toxique*

Mesures pour limiter la progression à la pollution de l'eau, de l'air et du sol + Mesures pour limiter la propagation de la pollution de l'eau, de l'air et du sol

Possibilité de rejets de substances toxiques provoquant des pollutions de l'eau/du sol (D2)

Pour les équipements critiques contenant des substances réagissant avec l'incendie, la chaleur et d'autres sources d'ignition : *Répondre à cette série de questions uniquement dans le cas où l'équipement critique contient une substance chimique réagissant avec l'incendie, la chaleur et d'autres sources d'ignition*

Mesures pour limiter la progression à la pollution de l'eau, de l'air et du sol + Mesures pour limiter la propagation de la pollution de l'eau, de l'air et du sol + Mesures pour limiter la progression aux explosions + Mesures pour limiter la propagation et les effets des explosions

L'équipement en question est-il situé à proximité de l'une de ces sources d'ignition (50m): équipement critique, équipement électrique, canalisations de transport de chaleur?	
Non	**Possibilité de génération de substances toxiques provoquant la pollution de l'air ou responsable d'explosion physique** (ceci dépend de la nature de la substance en question) (D'4)

Donc il est possible de déduire que ce sont les effets toxiques du GPL qui doivent principalement concerner l'entreprise en cas de rejet accidentel de la substance, provoqué par l'inondation.

4.2.4.3 Construction des arbres de défaillance et d'évènements caractéristiques de l'évènement critique « Brèche du contenant du réservoir de stockage GPL

La construction du nœud papillon propre à cet évènement critique est une option facultative proposée dans la fiche F (facultative) du diagnostic.

Il s'agit de se baser sur des scénarios génériques d'accidents proposés, et de ne garder que les branches des arbres qui s'appliquent au cas de l'entreprise X. En effet, et pour rappel ces arbres sont numérotés et leur numérotation est reliée aux différentes questions des fiches D et E. Ainsi, en fonction des réponses aux questions (cases de réponse non hachurées dans le cas de cette expérimentation), certaines branches des arbres sont gardées et d'autres écartées.

Les figures 67 et 68 présentent respectivement l'arbre de défaillances et l'arbre d'évènements correspondant à l'évènement critique « Brèche du contenant du réservoir de stockage GPL ».

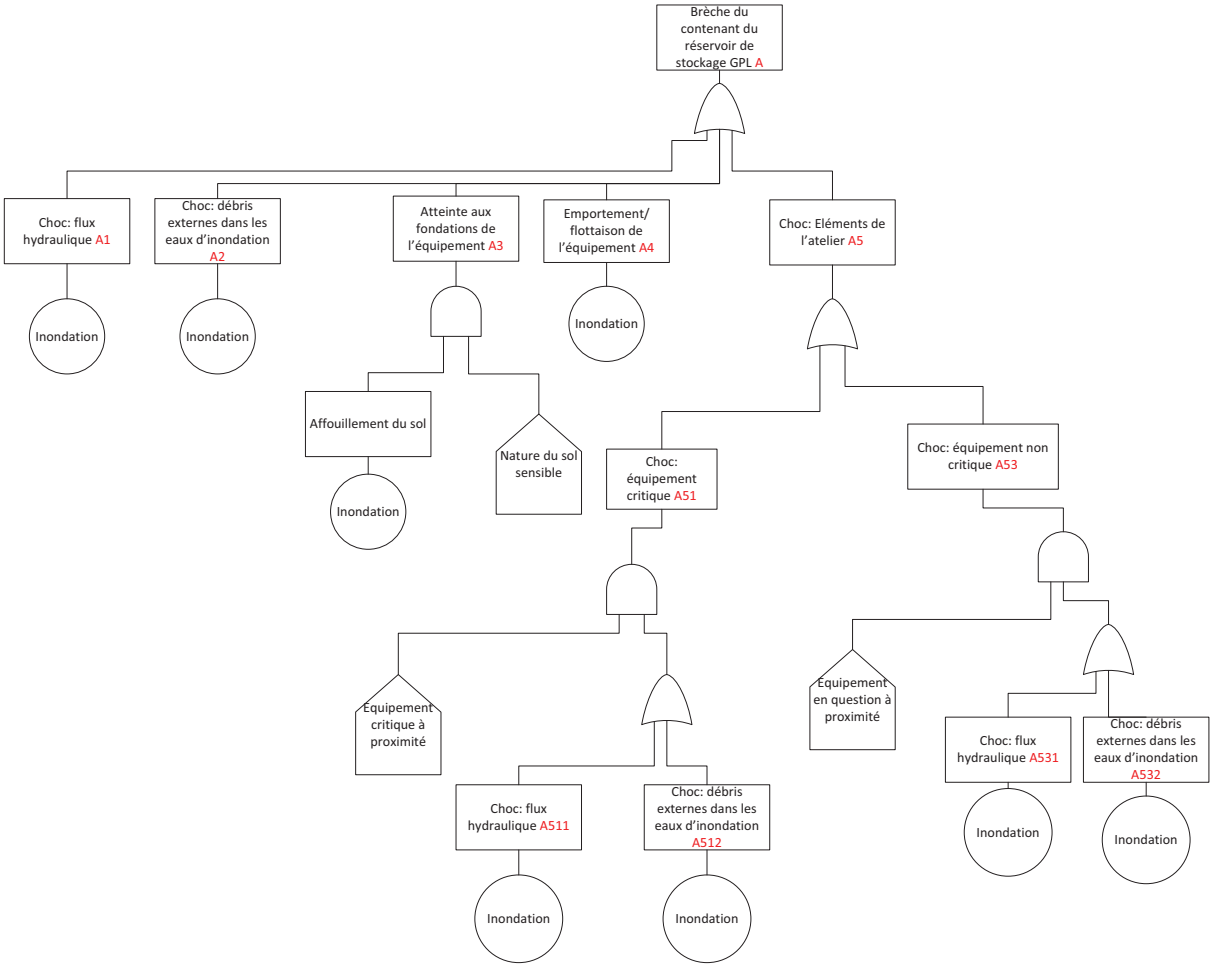


Figure 67 : Arbre de défaillance correspondant à l'évènement critique « Brèche du contenant du réservoir de stockage GPL ».

Evènement critique	Evènement critique secondaire		Type de substance	Evènements critiques tertiaires		Phénomènes dangereux	Evènements majeurs
Brèche du contenant Réservoir de stockage GPL	Diffusion des substances dangereuses dans l'air	D1	Inflammable	Dispersion du gaz	D13	Pollution de l'air	Effets toxiques
		OU					
		D2	Toxique	Dispersion du gaz		Pollution de l'air	Effets toxiques

Figure 68 : Arbre d'évènements correspondant à l'évènement critique « Brèche du contenant du réservoir de stockage GPL ».

4.2.5 Identification des Mesures de prévention et de protection- Fiche G et H

4.2.5.1 Liste des mesures de prévention du risque inondation adoptées au sein de l'établissement

Mesures techniques adoptées :

- Remplacement et rehaussage de la passerelle d'arrivée des forages située au niveau du cours d'eau à proximité de l'entreprise X ;

- Utilisation de batardeaux au niveau de la zone bureaux et laboratoires afin d'éviter l'entrée de l'eau dans ce bâtiment ;
- Déplacement de la cuve de soude dans la zone non inondable ;
- Remontée de la cuve d'acide sulfurique située en zone inondable du site au-delà de la hauteur maximale des eaux d'inondation ;
- Rehaussage des accumulateurs électriques situés en zone inondable du site pour éviter les court-circuits ;
- Ancrage de la cuve de GPL et vérification par des experts quant à la résistance au flux des eaux d'inondation + Lestage des bennes de bouteilles plastiques situées à proximité pour éviter leur déplacement par les eaux d'inondation.

Mesures organisationnelles adoptées :

- Formation et sensibilisation du personnel au risque inondation et l'activation des mesures de prévention d'urgence ;
- Constitution des équipes d'intervention en cas d'inondation ;
- Développement d'un plan d'urgence ;
- Coupure électrique (avant inondation) ;
- Prise de mesures de prévision d'inondation :
    - Lecture au moyen d'une règle du niveau d'eau du cours d'eau situé à proximité de l'entreprise X et assurance d'astreintes par des employés de l'entreprise sur une semaine complète pour une période allant du 15 octobre au 15 mars ;
    - Communication permanente avec les services municipaux de la commune où se situe l'entreprise X.

4.2.5.2 Identification des MMR de prévention

L'identification des MMR de prévention, dans le cadre du diagnostic, s'effectue sur la base des réponses aux questions de la fiche D, auxquelles des numéros de MMR de prévention du catalogue fourni avec le diagnostic sont attribués.

Ainsi, pour le cas de l'entreprise X, des mesures (extraites du catalogue des MMR de prévention) sont proposées pour prévenir la brèche du réservoir de stockage GPL (tableau 44). Nous avons choisi d'illustrer uniquement les mesures de prévention propres à l'équipement critique (2ème partie du tableau proposé dans la fiche G) sans alourdir le texte avec l'ensemble des mesures d'ordre générales qui s'appliquent sur l'ensemble du bâtiment ou bien celles de déplacement communes à tous les équipements. Certaines de ces mesures ont déjà été adoptées dans l'entreprise, d'autres ont servi de pistes de réflexion pour nos interlocuteurs industriels.

Tableau 44 : Mesures de prévention proposées (MP : Mesure Permanente ; MU : Mesure d'Urgence).

Pour chaque équipement critique	Mesures
Réservoir de stockage GPL	**Mesures générales pour chaque équipement**
	MMR28 Installation de batardeaux d'urgence autour de l'équipement pour éviter le contact avec les eaux d'inondation (MU)
	MMR31 Placement de grille entourant l'équipement pour éviter les chocs avec les débris externes transportés par les eaux d'inondation (MP)
	Mesures propres aux équipements critiques
	MMR32 Inspection et maintenance de routine pour localiser toute détérioration pouvant être une cause de fragilisation de l'équipement (MP)
	MMR37 Ancrage de l'équipement pour éviter le déplacement de l'équipement par les eaux d'inondation (MP) **(Déjà réalisée)**
	Mesures pour éviter l'affouillement du sol
	MMR21 Construction d'une bêche en béton (MP)
	MMR 22 Solutions de protection par tapis d'enrochement (MP)
Proximité d'un équipement non critique	**Mesures pour les équipements non critiques**
Bennes de bouteilles plastiques	MMR43 Placement de grille entourant l'équipement pour éviter les chocs avec les équipements charriés par les eaux (MP)
	MMR44 Arrimage des éléments à proximité de l'équipement en question et susceptibles de se déplacer pour éviter leur déplacement (Les bennes de bouteilles plastiques) (MP) **(Déjà réalisée)**
	MMR46 Rangement et contrôle de la zone à proximité de l'équipement en question (MP)

4.2.5.3 Identification des MMR de protection

La préoccupation principale quant au rejet de GPL suite à la brèche du réservoir de stockage est la pollution de l'air. Ainsi, il n'existe pas de mesures de protection particulières à adopter au niveau de l'entreprise pour faire face à ce type de scénarios.

Par contre, en passant au niveau de cette fiche et plus précisément à la notion de possibilité de défaillance et de perte d'utilités des MMR de protection suite à l'inondation du site, les réflexions ont mené le responsable environnement à penser à deux vannes de postes sprinklers qui sont situées en zone inondable et qui, dans le cas de l'inondation, peuvent être endommagées. Ce cas de scénario, qui n'était pas envisagé auparavant par l'entreprise, pourrait provoquer un non fonctionnement des postes sprinklers en cas d'incendie déclenché par l'inondation. En envisageant ce scénario, nos interlocuteurs industriels pourraient dorénavant penser à une solution alternative en cas de défaillance de ces vannes.

4.2.6 Organisation des mesures identifiées dans des plans d'urgence et d'actions et suivi de la mise en place des mesures permanentes- Fiche I, J et K.

La suite du diagnostic consiste à organiser l'ensemble des mesures identifiées dans les fiches précédentes et leur suivi. Faute de temps, ces notions ont été présentées en détails aux interlocuteurs industriels qui pourront les appliquer tout seuls en suivant les instructions des fiches I, J et K.

4.2.7 Bilan

Le diagnostic de vulnérabilité a donc permis de mettre en avant plusieurs réflexions intéressantes, notamment l'exposition de la cuve de stockage GPL non pas uniquement aux eaux d'inondation

pouvant l'emporter mais aussi aux débris externes qui peuvent être contenues dans les eaux provoquant une brèche de la cuve. Une autre réflexion abordée est la défaillance potentielle ou la perte d'utilités pouvant provoquer la défaillance de mesures de prévention et de protection mis en place dans l'établissement à la suite de l'inondation du site (aspect caractéristique des accidents Natech inondation qui n'est pas toujours envisagé par les industriels).

Ainsi, en dressant le diagnostic de cette entreprise, plusieurs mesures de prévention ont été proposées afin de faire face aux vulnérabilités identifiées.

4.3 Evaluation du mode opératoire de la méthode de diagnostic

Afin de vérifier la cohérence et la pertinence de la méthode de diagnostic mise en place et dans un souci d'amélioration de l'outil proposé, un questionnaire de satisfaction a été conçu et soumis à nos interlocuteurs industriels à la suite de notre réunion.

4.3.1 Questionnaire de satisfaction

Ce questionnaire est constitué de douze questions organisées en quatre parties (inspiré du travail de (Mengual, 2005)) :

- Evaluation de la forme de l'instrument du diagnostic ;
- Evaluation du contenu, de la compréhension et de la pertinence ;
- Evaluation de la mise en œuvre du diagnostic (durée et faisabilité) ;
- Evaluation des résultats (intérêts et pertinence).

Le questionnaire de satisfaction est à remplir par l'industriel à l'issue de l'application du diagnostic de vulnérabilité, ce qui permet de recueillir son avis sur les différentes parties de l'outil de diagnostic. Le questionnaire détaillé peut être trouvé en annexe 8.

La version renseignée par l'entreprise X à la suite de l'application du diagnostic nous a été envoyée par mail et est présentée en annexe 9.

4.3.2 Enseignements tirés des résultats du questionnaire de satisfaction et apports à l'outil de diagnostic

Cette section est consacrée aux principaux enseignements tirés du questionnaire de satisfaction alimentés par différentes discussions orales que nous avons eu avec nos interlocuteurs industriels de l'entreprise X. Il nous a notamment permis d'identifier des points d'améliorations qui ont été pris en compte dans la version finale de l'outil de diagnostic présenté dans le chapitre 3 dans le cadre de ce projet de thèse.

Tout d'abord, concernant **la forme générale de l'instrument de diagnostic** (l'agencement des différentes fiches, la présentation de l'objectif à atteindre en début de chaque fiche, l'utilisation du catalogue pour apporter des informations complémentaires pour les réponses aux questions quand cela est nécessaire…), cette dernière a été jugée comme étant bonne.

En ce qui concerne **le contenu, la compréhension et la pertinence**, une difficulté a été rencontrée : il s'agit de la manière dont était reliée à une catégorie de questions de la fiche D « Vulnérabilité de l'entreprise au risque d'accidents technologiques induits par l'inondation », une

catégorie de MMR du catalogue des MMR de prévention. Les interlocuteurs industriels pensaient qu'il est **plus intéressant de numéroter les MMR de prévention du catalogue et de relier chaque question à des MMR de prévention bien précises.** Cela facilite le travail de l'industriel qui n'aura pas à perdre le temps de rechercher les catégories de MMR qui s'appliquent aux déférentes questions de la fiche. En plus, cela diminue la possibilité de se tromper entre les MMR qui s'appliquent à une question et pas à une autre.

- Cette proposition a été prise en compte dans la version finale de l'instrument de diagnostic.

L'entretien avec les interlocuteurs industriels a également permis de relever quelques lacunes. Dans la première version du diagnostic, nous avons bien mis l'accent sur les défaillances potentielles des MMR de protection et l'éventualité des pertes d'utilités desquelles elles dépendent et qui sont provoquées par les eaux d'inondation. Or, nous n'avons pas porté une attention particulière **sur ces potentielles défaillances pouvant également touchées les MMR de prévention**, qui même dans le cas où elles sont conçues pour faire face à l'inondation peuvent dépendre d'utilités pouvant être endommagées par les eaux d'inondation.

- C'est ainsi, que nous avons ajouté cette notion dans la fiche G « Choisir les Mesures de Maîtrise du Risque de prévention ».

Une dernière lacune est **la différenciation entre mesures d'urgence et mesures permanentes dans les fiches G et H**, intitulée respectivement « Choisir les Mesures de Maîtrise du Risque de prévention » et « Choisir les Mesures de Maîtrise du Risque de protection ». En effet, la différenciation permettra de faciliter le travail de l'industriel pour organiser ses mesures dans des plans d'urgence et des plans d'actions dans les fiches I et J.

- La distinction entre les mesures d'urgence et les mesures permanentes a été proposée aux industriels dans la version finale de ces fiches.

Le questionnaire de satisfaction traitait ensuite de l'évaluation de **la mise en œuvre du diagnostic (durée et faisabilité).** Selon nos interlocuteurs industriels, le remplissage de l'ensemble du diagnostic nécessite une durée d'un jour (cumulée) et vu le degré et le recueil nécessaire d'informations, il est tout à fait possible de remplir le diagnostic seul. Il faut cependant noter que nos interlocuteurs industriels, pour cette application, sont des spécialistes de sécurité. Donc, nous ne pouvons pas affirmer qu'un chef d'entreprise, non spécialiste du risque, aurait le même avis.

En conclusion, il est possible de déduire que **d'un point de vue général**, l'outil a bien été accueilli par nos interlocuteurs industriels qui ont affirmé qu'il répondait aux objectifs préétablis et qu'il était, selon eux, assez général pour convenir à un grand nombre d'activités industrielles.

4.4 Intérêts pour le site industriel

En se basant sur l'application au niveau du site industriel X, le premier intérêt pour l'établissement de l'application du diagnostic est la prise de connaissance des paramètres caractérisant le scénario majorant d'inondation : connaître le délai d'alerte, la hauteur d'eau et la vitesse de montée des eaux, etc. Cela constitue un bénéfice pour la préparation au risque d'inondation.

Le diagnostic permet aussi de guider l'industriel pour la réalisation d'une analyse de risques détaillée. En effet, dans une entreprise, les analyses de risques se font à l'échelle globale (faute de

temps). Le diagnostic offre la possibilité de guider l'industriel pas à pas pour effectuer une analyse de risques détaillée, sans être obligé de réaliser une analyse interminable afin de prendre les détails en compte. « Le diagnostic nous a permis de penser à des notions auxquelles nous ne nous sommes pas spécialement intéressées mais qui suite au remplissage du diagnostic semblent primordiales » : chocs des débris externes avec la cuve de stockage de GPL, potentialité de défaillance ou de perte d'utilités de MMR de prévention ou de protection tels que la défaillance par les eaux d'inondation des deux vannes post sprinklers.

L'outil offre également la possibilité d'organiser les différentes mesures d'urgence mises en place pour faire face au risque d'accidents technologiques induits par l'inondation telle que la coupure d'électricité qui doit suivre la mise en place des batardeaux d'urgence. Ainsi, cela mène à penser à la nécessité de mettre sur papier la procédure à suivre en cas d'inondation, en organisant les différentes mesures d'urgence identifiées sous forme de plan d'urgence.

Enfin, l'application du diagnostic et les mesures qui en découlent peuvent servir de preuve à l'assureur et aux services d'état de la prise en compte du risque Natech inondation au sein de l'établissement.

4.5 Apports à l'amélioration de l'outil

- **Enrichissement sur le plan de la prévention du risque Natech inondation (recherche de MMR) :** en enrichissant la liste des mesures organisationnelles d'urgence proposées dans le cadre de la fiche I « Développement du plan d'urgence ». Dans le diagnostic, nous proposons un catalogue de MMR de prévention que nous avons qualifiées de techniques et qui sont identifiées dans la fiche G « Choisir les Mesures de Maîtrise du Risque de prévention ». Or, dans le cadre de la fiche I, et pour guider l'industriel dans le développement du plan d'urgence, nous proposons des mesures organisationnelles d'urgence à adopter en supplément des mesures techniques d'urgence identifiées dans le cadre de la fiche G. L'application de l'outil dans l'entreprise X a permis d'enrichir ces mesures organisationnelles.
- **Importance de focaliser l'attention sur le plan d'urgence :** Durant l'application du diagnostic, il a bien été noté l'importance et la pertinence de l'organisation des mesures d'urgence identifiées dans un plan d'urgence afin de bien se préparer à l'inondation en évitant toute possibilité d'oubli. En effet, ce plan permet de définir le rôle et les responsabilités de chaque personne tout en prenant en compte toutes les éventualités identifiées dans l'analyse de risques préétablie. Ainsi, il est intéressant de proposer un plan d'urgence, encore plus détaillé, que l'industriel pourra adopter pour le cas spécifique de son site industriel.
- **Confirmation de l'importance de la proposition d'un outil guidant les industriels dans leur démarche d'analyse de risque Natech inondation** (validation de l'hypothèse H4): Les industriels s'attendent à un outil qui les guide pas-à-pas pour effectuer une analyse de risques détaillée. D'où l'importance d'avoir effectué la plus grande partie du travail en amont. Ainsi, il reste à l'industriel de remplir les données propres à son entreprise sans avoir besoin de recueillir une quantité d'informations importantes. Aussi, le travail de recherche effectué peut être perçu comme une pré-analyse de risque Natech inondation, présentée sous la forme d'un diagnostic, qui est appliqué à chaque cas industriel spécifique.

Conclusion du chapitre 4

Le chapitre 4 a présenté l'application de la méthodologie à un cas d'étude, une entreprise agro-alimentaire. Le chapitre a débuté avec la présentation de l'entreprise et ses caractéristiques. Ensuite, l'expérimentation est déroulée en passant par ordre chronologique l'ensemble des fiches du diagnostic. Les deux parties suivantes du chapitre ont servi d'évaluation des différents aspects de l'outil, notamment par l'intermédiaire d'un questionnaire de satisfaction rempli par l'industriel lui-même. Outre, le mode d'emploi, la forme et la pertinence, le questionnaire de satisfaction nous a permis de mettre le point sur les intérêts que peut apporter un tel diagnostic de vulnérabilité pour l'industriel, notamment :

- la prise de connaissance des paramètres caractérisant le scénario majorant d'inondation,
- la réalisation d'une analyse de risques détaillée,
- la possibilité d'organiser les différentes mesures d'urgence mises en place pour faire face au risque d'accidents technologiques induits par l'inondation,
- la preuve à l'assureur et aux services d'état de la prise en compte du risque Natech inondation au sein de l'établissement.

Enfin, une dernière partie du chapitre a servi de réflexion sur des améliorations potentielles de l'outil et qui sont développées plus en détails dans la partie consacrée à la présentation des perspectives dans ce mémoire.

La réalisation du diagnostic a également permis à l'industriel de mieux connaître les mécanismes d'accidents Natech inondation, et d'identifier de nouveaux moyens de mitigation (MMR) **(validation de notre première hypothèse de recherche)**.

« H1 : Le manque d'informations portant sur les impacts potentiels des accidents Natech inondation résultent en un manque de mitigation faisant face à de tels évènements. » Ainsi, les mécanismes de déclenchement de tels accidents doivent être élucidés plus clairement suite à l'identification des scénarios Natech à l'échelle du site industriel, afin de répondre à ces lacunes.

De même, l'application du diagnostic a permis d'identifier des moyens de mitigation qui prennent en compte les spécificités des tels accidents (tels que la perte d'utilités des MMR suite à l'inondation), ainsi tous les cas de figures possibles propres aux accidents Natech inondation sont considérés **(validation de la deuxième hypothèse de recherche)**.

« **H2 : Les Natechs, qui sont certes une sous-catégorie de risques technologiques, ne doivent pas être gérer simplement comme un type particulier d'accidents technologiques. Le risque Natech doit être pris en compte indépendamment dans le processus de gestion des risques au sein d'une installation industrielle**. »

Ainsi, maintenant que l'entreprise connait ses vulnérabilités vis-à-vis du risque Natech inondation et a identifié des mesures de leur réduction, il est possible de déduire que la méthodologie proposée (sous forme d'outil de diagnostic) a contribué à la réduction de la vulnérabilité de l'entreprise au risque d'accidents technologiques induits par l'inondation **(validation de la troisième hypothèse directrice de ce travail de recherche).**

« H3 : Une méthodologie de gestion de risque spécifique Natech inondation au niveau de l'installation industrielle contribue à la réduction de la vulnérabilité de l'industrie au risque inondation et à la réduction des conséquences de ces accidents sur le voisinage de l'installation. »

Dans le cadre de l'application de l'outil au niveau de l'entreprise X, nous avons également interrogé nos interlocuteurs industriels, les responsables sécurité et environnement, quant à leur préférence concernant la présentation finale de la méthodologie. Nos interlocuteurs, qui sont des spécialistes du domaine des risques et qui se sentent à l'aise avec la manipulation de l'outil nœud papillon, se sont intéressées à nos scénarios d'accidents Natech inondation, affirmant qu'ils peuvent leur servir dans le cadre d'autres analyses de risques. Mais ils ont trouvé qu'un diagnostic de vulnérabilité est aussi une idée intéressante pour faciliter le travail **(deuxième validation de la quatrième hypothèse de ce travail de recherche).**

« H4 : Il est plus intéressant de proposer une méthode de gestion de risques simplifiée permettant de réduire la vulnérabilité du site industriel au risque Natech inondation sous forme de diagnostic de vulnérabilité ».

Toutefois, il serait intéressant d'appliquer l'outil de diagnostic proposé à d'autres entreprises de divers secteurs d'activités afin d'asseoir la validation de nos hypothèses. Il s'agit d'une des nombreuses perspectives de ce travail de recherche qui sont exposées plus en détails dans la dernière partie du mémoire « Synthèse, discussions et perspectives ».

Synthèse, Discussions et Perspectives

Synthèse, Discussions et Perspectives

L'occupation des zones inondables par les habitations, les activités économiques et les infrastructures a pour conséquence la multiplication du nombre des enjeux vulnérables exposés (European environment agency, 2010) (Mengual, 2005). Les installations industrielles à risques font parties de ce réseau urbanisé. En effet, leur localisation en zone inondable facilite, entre autres, l'utilisation des ressources d'eau ou bien l'accès des employés au site.

Cette proximité, d'une part, entre l'entreprise et les zones urbanisées pose plusieurs problèmes dont le danger d'accidents technologiques pouvant avoir des conséquences catastrophiques sur le voisinage de l'industrie. D'autre part, la localisation de l'entreprise dans une zone inondable augmente le risque d'accidents technologiques en ajoutant aux sources de danger internes (tels que les défaillances internes) des sources externes et plus particulièrement l'inondation.

En effet, une inondation comme toute autre phénomène naturel peut avoir des impacts assez graves sur une installation industrielle : détérioration et /ou destruction des équipements de production, détérioration et/ou destruction des stocks de matières premières et de produits finis, destruction de documents importants pour le fonctionnement de l'entreprise…

Mais les impacts les plus importants, et qui ne sont pas toujours étudiés, sont les impacts induits : Il s'agit du déclenchement de sources supplémentaires de danger suite à l'atteinte de l'entreprise et de génération d'un risque d'accidents technologiques. Citons à titre d'exemple, les incendies, les explosions, les pollutions diverses. Ces accidents sont connus sous le terme d'accidents Natech inondation.

Afin de réduire les impacts directs d'une inondation sur l'entreprise et d'éviter les accidents technologiques graves qui peuvent avoir des conséquences dévastatrices sur l'entreprise et son voisinage (environnement et habitants aux alentours), il faut bien la préparer pour faire face au risque inondation.

Notre projet s'inscrit dans cette logique de prévention du risque inondation en entreprise. Nous avons développé une méthodologie d'analyse et de prévention de risque d'accidents technologiques induits par l'inondation qui a servi de base pour l'élaboration d'un diagnostic de la vulnérabilité des entreprises à ce type d'accidents.

Tout d'abord, il apparait opportun de résumer les différentes étapes ayant conduit à la conception de la méthodologie d'analyse de risque, à la réalisation de l'outil de diagnostic puis à son application à l'échelle industrielle. Ensuite, cette synthèse résume nos contributions scientifiques et pour les acteurs opérationnels (entreprises, bureaux d'études…). Enfin, cette section est aussi l'occasion de discuter des résultats, des limites et des perspectives de ce travail de recherche.

Synthèse

1. Besoin d'une méthodologie de gestion de risque spécifique Natech inondation au niveau de l'installation afin de réduire sa vulnérabilité à ce risque

Dans ce travail de recherche, le risque Natech inondation est présenté comme étant la combinaison de deux risques : le risque inondation et le risque technologique. Ce type de risque est composé de trois piliers : (1) L'inondation, aléa naturel du risque inondation ; (2) l'installation industrielle, enjeu du risque inondation et aléa technologique du risque technologique ; (3) le voisinage de l'installation industrielle, enjeu du risque technologique. Ainsi, l'analyse de la gestion de ces trois types de risques (industriel, naturel inondation et Natech inondation), à travers le cycle de gestion intégrée du risque, a permis de mettre en exergue les lacunes existantes quant à la gestion du risque Natech inondation au niveau des installations industrielles. La complexité de la gestion de ce risque ainsi que l'absence d'assistances technique et réglementaire à l'intention des industriels ont contribué au manque de mitigation pour s'opposer à de tels évènements et ainsi à une augmentation des dommages humains, économiques et environnementaux causés par ces accidents. Ainsi, nous avons identifié l'importance d'élucider les mécanismes de déclenchement de tels évènements suite à l'identification des scénarios Natech à l'échelle industrielle, afin de répondre à ces lacunes (H1). Egalement, vu la spécificité de ces types d'accidents, les Natechs inondation ne doivent pas être gérés simplement comme un type particulier d'accidents technologiques mais plutôt pris en compte indépendamment dans le processus de gestion des risques au sein d'une installation industrielle (H2).

En outre, des méthodes de gestion des risques industriels, naturels puis conjoints naturel inondation et industriel (Natech inondation) ont été analysées par rapport aux contraintes et besoins de ce travail de recherche. Ainsi, à la suite de l'identification des lacunes des différentes méthodes par rapport à ces contraintes et besoins, il s'avère nécessaire de développer une méthodologie de gestion de risque spécifique Natech inondation au niveau de l'installation industrielle afin de contribuer à la réduction de la vulnérabilité de l'industrie au risque Natech inondation et à la réduction des conséquences de ces accidents sur le voisinage de l'installation (H3). Vu l'imprécision des données portant sur les Natechs inondation, la méthode d'analyse de risque doit être accompagné d'un outil de diagnostic (sous forme de questionnaire) simple d'utilisation à l'intention des industriels (H4).

Le premier chapitre du manuscrit a permis de poser les hypothèses de recherche, d'identifier les besoins en termes de méthodologie de gestion de risque Natech inondation et de présenter les détails de la démarche suivie pour le choix des méthodes et outils utilisés pour le développement de cette méthodologie. La suite du travail s'est orientée sur l'élaboration de la méthodologie consacrée à l'analyse et la prévention du risque Natech inondation au niveau de l'installation industrielle.

2. Scénarios génériques d'accidents Natech inondation pour l'élaboration de l'instrument de diagnostic de la vulnérabilité des installations industrielles au risque Natech inondation

Une méthodologie répondant à l'ensemble des critères préétablis dans le premier chapitre a été développée. Elle a permis d'expliciter les mécanismes des accidents Natech inondation sous forme de cinq scénarios d'accidents génériques présentés en utilisant l'outil nœud papillon. Ce travail s'est inspiré principalement de la méthode MADS/MOSAR, à laquelle des extensions ont été apportées afin

de l'adapter à la problématique Natech. De plus, cette méthodologie s'est basée sur une analyse REX a posteriori portant sur les accidents Natech inondation (chapitre 2).

Ainsi, ces scénarios d'accidents génériques ont constitué la base de la suite du travail de recherche. Les points suivants peuvent être soulignés :

- A partir de ces scénarios, des MMR de prévention et de protection, pouvant être adoptées au niveau de l'installation industrielle, ont été identifiées. Elles servent de démonstration de la maîtrise du risque Natech inondation à l'échelle industrielle (chapitre 2).
- La complétude et la plausibilité de ces scénarios ont ensuite été validées à l'échelle générique du secteur d'activité de traitement de surface et à l'échelle spécifique de deux installations industrielles de traitement de surface situées en zone inondable (chapitre 3).
- Enfin, en se basant sur ces scénarios génériques validés, un outil de diagnostic de vulnérabilité au risque Natech inondation a été développé. C'est l'étude de plusieurs diagnostics qui a permis de fonder le mode opératoire de l'outil dont les différentes parties suivent les étapes classiques d'une méthode de gestion de risque (chapitre 3) :
    - Identification des risques : de l'aléa inondation et des équipements critiques en zone inondable ;
    - Analyse des risques : développement des scénarios d'accidents Natech inondation propres au site industriel en question ;
    - Maîtrise des risques : par identification de MMR de prévention et de protection propres au site industriel et leur organisation sous forme de plan d'urgence et plan d'actions ;
    - Suivi de la maîtrise des risques en suivant la mise en place des mesures permanentes.

Ces travaux ont donc abouti à l'élaboration d'un outil de diagnostic de la vulnérabilité des installations industrielles au risque Natech inondation, outil qui a été expérimenté sur une entreprise agro-alimentaire exerçant son activité en zone inondable. Cette expérimentation a permis d'évaluer le mode opératoire et la pertinence de l'outil ainsi que de tirer des enseignements pour son amélioration (chapitre 4). L'expérimentation de l'outil proposé a également permis de valider les hypothèses énoncées dans le chapitre 1.

3. Bilan des apports scientifiques et des apports pour les acteurs opérationnels concernés par le risque Natech inondation

Nos contributions à la thématique de recherche portant sur la gestion des risques Natech inondation peuvent être résumées en deux grands points :

- **L'élaboration de scénarios génériques Natech inondation :** Il s'agit d'une première tentative d'explicitation des mécanismes de ces accidents sous forme de scénarios potentiellement observables au sein d'une installation industrielle. Le développement de ces scénarios s'est basé sur **une analyse rigoureuse de retours d'expériences d'accidents Natech inondation** permettant d'apporter notamment des connaissances sur les causes de ces accidents (aucune analyse portant sur ces causes n'existait jusqu'à présent).
- **Application de la méthode MADS-MOSAR à la problématique Natech inondation :** Certaines modifications ont été apportées à la méthode afin de l'adapter à notre problématique, notamment, la modélisation du contexte d'étude et plus particulièrement de

l'installation industrielle et l'identification d'une typologie de sources de danger propres au risque Natech inondation.

Ce travail a également contribué à la prévention du risque Natech inondation pour les acteurs opérationnels ou parties prenantes concernés par ce risque. Ces apports peuvent être présentés brièvement sous forme de quatre points distincts :

- **Sensibilisation au risque Natech inondation :** L'application de l'outil de diagnostic proposé permet avant tout de sensibiliser l'industriel quant au risque d'accidents majeurs déclenchés par l'inondation. Un exemple est la prise de connaissance de l'industriel du scénario majorant d'inondation qui menace son entreprise, ce qui lui permet de bien se préparer pour faire face à ce risque.
- **Développement d'un outil de diagnostic de vulnérabilité d'une entreprise au risque Natech inondation, accompagné d'un catalogue de mesures de prévention :** Bien que plusieurs diagnostics de vulnérabilité d'entreprises au risque inondation existent déjà, ces derniers sont plus focalisés sur l'analyse des dommages directs. Le diagnostic proposé permet à l'industriel de trouver des points critiques dans son entreprise vis-à-vis du risque Natech inondation et d'identifier des mesures de prévention et de protection efficaces pour réduire la vulnérabilité à ce risque particulier.
- **Mise en évidence de la stratégie de prévention du risque Natech inondation :** Les résultats obtenus suite à l'application du diagnostic de vulnérabilité permettent à l'industriel d'expliciter plus clairement, à son assureur et aux services de l'état, sa stratégie de prévention du risque Natech inondation.
- **Préparation d'urgence au risque Natech inondation :** L'outil de diagnostic proposé consacre une fiche entière à l'organisation des mesures d'urgence sous forme de plan d'urgence. Cette fiche explique également en détails les modalités de développement d'un plan d'urgence spécifique Natech inondation.

Toutefois, le travail présente des limites qui sont discutées dans les paragraphes suivants.

Discussion

4. Analyse du phénomène Natech centrée sur le site industriel, composante d'un territoire

Notre étude porte sur une analyse de risque axée sur un enjeu particulier (l'entreprise) afin de comprendre en quoi il est vulnérable et comment il est possible de réduire sa vulnérabilité vis-à-vis du risque Natech inondation. L'étude ne porte pas sur la gestion de ce risque à l'échelle d'un territoire (Ledoux, 2006) (Vinet, 2010).

En effet, la focalisation sur une entité bien précise du territoire garantit un niveau de connaissance satisfaisant de cet objet et permet une finesse d'analyse non atteignable à l'échelle territoriale. Ainsi, cette analyse de risque plus précise et plus exhaustive à l'échelle industrielle contribue à fournir des apports intéressants quant à la gestion du risque à l'échelle territoriale.

De ce fait, notre travail s'inscrit dans le cadre de l'initiative de développement de la prévention individualisée du risque ou « interne » dans les entreprises : elle permet d'informer, d'agir et de faire réagir les entreprises à une échelle locale, à la différence de l'initiative institutionnelle ou « externe »

et qui présente des actions collectives ou nationales (diffusion de documents de prévention généraux) (Mengual, 2005).

Cependant, notre étude bibliographique a bien démontré que les événements Natech peuvent profondément déstabiliser des territoires et des sociétés. Une analyse essentiellement centrée sur la vulnérabilité du site industriel est indispensable mais insuffisante car ces catastrophes trouvent leurs origines et peuvent avoir des répercussions bien au-delà des limites administratives du simple site industriel au cœur de l'événement. Les effets domino observés lors d'un événement Natech sont des phénomènes d'une ampleur et d'une gravité exceptionnelles (Cruz et al., 2004). Ils caractérisent des crises qui sortent du domaine habituel de réflexion et de référence : elles mettent en relation/confrontation des modes de gouvernances, des réglementations des systèmes technologiques qui sont habituellement réfléchis et pensés séparément.

Il est donc primordial d'analyser le phénomène Natech d'un point de vue local (l'entreprise) mais également plus global (la société) afin de pouvoir identifier les ressources et les capacités mobilisables pour faire face à la crise et se re-stabiliser.

5. Culture de risque Natech et utilisation de l'outil de diagnostic

Culture et Objectif :

Suite aux rencontres avec les industriels, trois niveaux de culture du risque Natech inondation ont pu être identifiés. Le premier niveau est le cas de l'entreprise X, qui a subi plusieurs inondations et qui a mis au point une procédure de prévention du risque inondation bien claire. Le deuxième niveau est le cas des entreprises STEM et CIC qui sont situées en zone inondable, la première a subi des inondations mais sans occurrence de dommages importants, la seconde est située dans la zone rouge du PPRI et subit donc des pressions importantes des services de l'état vis-à-vis de la prévention du risque inondation. Ainsi, ces deux entreprises sont sensibilisées au risque Natech inondation et elles ont adoptées des mesures de bons sens pour le prévenir. Le dernier niveau concerne une entreprise que nous avons visitée mais qui n'a pas fait l'objet d'une étude approfondie (entreprise Y). En effet, cette dernière n'a subi aucune inondation, et vu qu'elle est située à la limite de la zone bleue du PPRI, elle ne subit aucune pression réglementaire. Nous avons donc remarqué que l'industriel n'avait aucune conscience du risque bien que son entreprise soit située en zone inondable. Il est alors possible de relier le niveau de conscience du risque de l'industriel au fait d'avoir vécu des inondations et subi des dommages plus ou moins importants, ainsi qu'au contrôle qui peut être plus ou moins sévère des services de l'état.

En conséquence, en fonction de ces trois niveaux de culture, l'outil de diagnostic proposé possède différents objectifs. Un objectif de sensibilisation pour le troisième niveau de culture, d'organisation de la procédure de prévention du risque Natech inondation pour le deuxième niveau et d'analyse détaillée du risque Natech inondation pour le premier niveau (tableau 45).

Culture et Appropriation de l'outil :

Bien évidemment, l'appropriation de l'outil proposé sera d'autant plus aisée que la culture de risque de l'utilisateur est importante. Par exemple, dans le cas de l'entreprise X, les connaissances techniques et la culture du risque de nos interlocuteurs leur ont permis d'affirmer qu'ils sont dans la possibilité de remplir le diagnostic seuls. Ainsi, nous pouvons plutôt parlé d'autodiagnostic. Egalement, dans ce cas, il est même envisageable de proposer un support d'analyse sous forme de pré-

analyse du risque Natech inondation (en proposant directement les nœuds papillons), ce qui offrira la possibilité d'inclure cette pré-analyse dans le processus général de gestion de risques de l'industrie (tableau 45).

Par contre, dans le cas où l'utilisateur manque de connaissances techniques dans le domaine du risque, il peut ne pas être à l'aise pour remplir le questionnaire proposé seul. Il aura besoin d'une assistance, il s'agira alors plutôt d'un diagnostic de vulnérabilité.

Tableau 45 : Dépendance de l'objectif de l'outil proposé et son appropriation par l'industriel du niveau de culture du risque Natech inondation.

Niveau de culture du risque Natech inondation (du plus élevé au moins élevé)	Exemple d'entreprise en question dans le projet de recherche	Objectifs de l'outil proposé	Appropriation de l'outil proposé
Niveau 1	Entreprise X	Analyse détaillée du risque Natech inondation	Autodiagnostic de vulnérabilité au risque Natech inondation
Niveau 2	STEM et CIC	Organisation de la procédure de prévention du risque Natech inondation	Diagnostic de vulnérabilité au risque Natech inondation
Niveau 3	Entreprise Y	Sensibilisation au risque Natech inondation	-

6. Généricité de l'outil de diagnostic proposé

Une limite de ce travail de recherche concerne l'approche de validation des scénarios génériques Natech inondation. La validation des scénarios s'est effectuée à deux échelles : au niveau générique du secteur d'activité de traitement de surface et au niveau spécifique de deux entreprises de traitement de surface situées en zone inondable.

Il est important, afin d'asseoir la validation et la généricité des scénarios présentés, d'effectuer le même exercice pour d'autres secteurs d'activités et des entreprises de ces secteurs.

L'application de l'outil de diagnostic à une entreprise du secteur de l'agro-alimentaire, l'entreprise X, nous a prouvé que l'outil est bien applicable à une entreprise d'un autre secteur que celui du traitement de surface. Ainsi, une première approche de généricité est apportée.

7. Application de la méthodologie à des installations industrielles type ICPE

La méthodologie que nous proposons considère comme équipements critiques, les équipements classés ICPE. Elle concerne ainsi les établissements classés ICPE.

Mais qu'en est-il donc des équipements non classés (dans des établissements industriels classés ou non), ne présentent-ils pas de potentiels de danger vis-à-vis du risque Natech inondation ? Un accident répertorié dans la base ARIA sert de preuve vis-à-vis de l'intérêt de la prise en compte de tels équipements non classés dans la méthodologie pouvant être, suite à l'inondation, sources d'accidents Natech inondation : « Dans une société de fabrication d'équipements automobiles en Picardie, à la suite de pluies d'orage, des huiles contenues dans un caniveau de rétention non étanche, polluent un

cours d'eau via le réseau d'eaux pluviales. La faune et la flore aquatiques sont atteintes ». Il est donc important de réfléchir sur les équipements qu'il faut prendre en compte dans le cadre de la problématique Natech inondation.

Il serait donc intéressant de considérer des équipements industriels qui contiennent une quantité de substances dangereuses supérieure à un seuil précis. Se pose alors la question de la fixation de ce seuil. Ce principe de seuil a été utilisé dans le cadre du projet européen ARAMIS (MEDDE-Direction des risques accidentels, 2004), appliqué au cas des accidents technologiques classiques.

Donc, il serait intéressant de considérer toutes les entreprises, même celles qui ne sont pas classées ICPE, et qui contiennent des équipements industriels stockant des quantités de substances dangereuses supérieures à un seuil pré-fixé.

8. Limite par rapport aux étapes d'évaluation et de hiérarchisation (des deux composantes Probabilité et Gravité) dans la méthodologie de gestion de risque Natech inondation

La méthodologie proposée est basée sur une méthode de gestion de risque qualitative et non quantitative. Ainsi, l'importance des dimensions des dommages aux équipements critiques et l'intensité des rejets de substances dangereuses n'ont pas été utilisées. Toutefois, ces deux composantes sont indispensables afin de mener une méthodologie de gestion de risque quantitative (Antonioni et al., 2009).

Mais, une des plus grandes lacunes dans le domaine de la réduction du risque Natech est la limitation des données empiriques portant sur ces accidents notamment les dommages provoqués par les aléas naturels aux équipements industriels, les modes de défaillances de ces équipements et les conséquences de ces accidents (Cruz et Kraussman, 2007). Les données d'accidents passés peuvent être très enrichissantes et permettent notamment d'extraire des enseignements des expériences passées, tels que l'analyse des modes de défaillances et le développement des courbes de fragilité pour les équipements industriels nécessaire pour l'évaluation probabiliste du risque. Les courbes de fragilité sont des courbes permettant de relier l'intensité de l'aléa naturel aux différentes dimensions de dommages structuraux des équipements industriels (Girgin et Kraussman, 2012). Ces données d'accidents passés permettent également d'améliorer les mesures de prévention et de protection et de planifier les réponses d'urgence. Pour le cas des inondations, les études sur ce sujet sont encore plus limitées, et des difficultés existent notamment à cause du manque de données, ce qui rend l'élaboration des courbes de fragilité assez difficiles (Kraussman et Mushtaq, 2008).

9. Limite par rapport aux types d'équipements et de substances considérés dans le travail de recherche

Les scénarios d'accidents développés dans le cadre de ce travail de recherche ont porté sur les équipements industriels atmosphériques contenant des substances dangereuses liquides. Egalement, les scénarios portant sur les mélanges de substances dangereuses incompatibles pouvant être simultanément rejetées suite à l'inondation n'ont pas été abordé. En effet, afin d'observer une réaction entre des substances liquides incompatibles, les deux rejets de substances doivent être simultanés, des concentrations spécifiques de ces deux substances rejetées doivent être atteintes, et il est nécessaire que les eaux d'inondation contenant ces substances se mélangent. Or, suite au rejet des substances

dangereuses « liquides » et leur dilution dans les eaux d'inondation, nous avons jugé que ce scénario d'accident est très peu probable au regard des autres scénarios.

Or, ce type de scénarios de mélange de substances incompatibles pourrait être intéressant à étudier dans le cas d'équipements industriels contenant des substances dangereuses gazeuses. En effet, il est plus probable dans ce cas d'atteindre les concentrations spécifiques nécessaires à l'observation d'une réaction, en absence de dilution des substances dans les eaux d'inondation et suite à la dispersion des substances dangereuses dans l'atmosphère interne de l'entreprise. Le mélange de gaz incompatibles pourrait notamment provoquer des explosions (INRS, Consulté le 21 Août 2012).

A partir des limites discutées, différentes perspectives peuvent être formulées. Elles sont présentées dans le paragraphe suivant.

Perspectives

Une première perspective de ce travail de recherche est **de valider la généricité des scénarios d'accidents Natech inondation proposée.** Il s'agit d'effectuer le même exercice au niveau d'autres secteurs d'activités que le traitement de surface et des entreprises de ces secteurs.

A la suite de la validation de la généricité des scénarios déjà élaborés, il serait intéressant comme une deuxième perspective de travail **d'élargir le panel d'étude pour prendre en compte les équipements industriels sous-pression et contenant des substances gazeuses et solides, ainsi que d'ajouter le scénario d'accident relatif au mélange de substances dangereuses incompatibles**. Cela consiste à effectuer d'éventuels changements au niveau des branches dans les nœuds papillons proposés.

Une troisième perspective du travail est **de passer d'une méthode de gestion de risque qualitative à une méthode quantitative. Cela consiste à effectuer des études de terrain afin de proposer des données quantitatives d'évaluation de la probabilité et de la gravité des accidents Natech**. Un projet de recherche (Resto-terrin) mené à l'Ecole des Mines de Saint Etienne portera sur cet aspect : une collecte de données sera réalisée par un travail de terrain mené au Japon (visites de sites et enquête par courrier) auprès d'industriels et des membres des autorités régaliennes. L'enquête permettra de récupérer des données qualitatives et quantitatives sur les dommages subis par les bâtiments, les machines, les équipements ainsi que les dommages non structurels, mais aussi sur les modes de gestion d'urgence observés au niveau industriel et des autorités lors de la survenue d'un événement Natech. Deux aléas naturels seront pris en compte : le tremblement de terre et le tsunami. Dans le cas de tremblement de terre, les dommages et les pourcentages de perte seront associés à des niveaux de mouvement du sol et dans le cas du tsunami, ils seront associés à des hauteurs d'inondation et les vitesses d'écoulement des eaux.

Dans le même projet (Resto-terrin) se présente une autre perspective de ce travail de recherche : **étendre la vision d'analyse au territoire voire la société.** Il s'agira ainsi de concevoir un modèle de résilience territoriale au risque Natech qui permettra d'identifier et d'étudier les critères pertinents qui conditionnent et assurent un résultat en matière de résilience Natech. Le projet proposé a pour objectif principal de produire des connaissances pertinentes et des réponses efficaces en matière de méthodes et d'outils destinés à améliorer la résilience des territoires face aux accidents Natech.

Enfin, une dernière perspective est **d'étendre la méthodologie pour considérer d'autres aléas naturels,** notamment les tsunamis et les tremblements de terre.

Liste des communications

- **Articles de journal avec comité de lecture :**

- **Carine EL HAJJ, Eric Piatyszek, Alicja Tardy, Valérie Laforest**. « Development of a methodology for the risk analysis of industrial accidents triggered by floods ». *Journal of Natural Hazards (soumis)*.
- **Carine EL HAJJ, Eric Piatyszek, Alicja Tardy, Valérie Laforest**. « Accidents technologiques induits par une inondation (phénomène Natech) : Développement de scénarios génériques.». *Revue Géorisques n°Spécial, Article invité (soumis)*.

- **Article de conférence avec comité de lecture :**

- **Carine EL HAJJ, Eric Piatyszek, Alicja Tardy, Valérie Laforest**. « Accidents technologiques induits par une inondation (phénomène Natech) : Développement de scénarios génériques.». *9ème rencontre annuelle Géorisques, Montpellier, 21-22 Janvier 2013*.

- **Conférences avec acte :**

- **Carine EL HAJJ, Eric Piatyszek, Valérie Laforest**. « Development of generic scenarios of industrial accidents triggered by floods: a first step toward decreasing the vulnerability of industrial facilities ». 103-114. Croatia: C.A. Brebbia Wessex Institut of Technology UK, 2012.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

Accueil - Inspection des Installations Classées, Consulté le 25/11/2010, URL http://www.installationsclassees.developpement-durable.gouv.fr.

AFNOR, 2010. *NF ISO 31000 Management du risque Principes et lignes directrices*.

Aida, 2000. *Arrêté du 10/05/00 relatif à la prévention des accidents majeurs impliquant des substances ou des préparations dangereuses présentes dans certaines catégories d'installations classées pour la protection de l'environnement soumises à autorisation.*

Aida, 2005. *Circulaire du 03/10/05 relative à la mise en œuvre des plans de prévention des risques technologiques.*

Aida, 2006. *Circulaire DPPR/SEI2/CB-06-0388 du 28/12/06 relative à la mise à disposition du guide d'élaboration et de lecture des études de dangers pour les établissements soumis à autorisation avec servitudes et des fiches d'application des textes réglementaires récents.*

Aida, 2010. *Circulaire du 10/05/10 récapitulant les règles méthodologiques applicables aux études de dangers, à l'appréciation de la démarche de réduction du risque à la source et aux plans de prévention des risques technologiques (PPRT) dans les installations classées en application de la loi du 30 juillet 2003.*

Akihiko H., Tomoaki N., Takuya I, 2012. *Damage and Effects Caused by Tsunami Fires: Fire Spread, Fire Fighting and Evacuation, One Year after the Great East Japan Earthquake* – International Symposium on Engineering Lessons Learned from the Giant Earthquake -, pp.43-62.

Akihiko H.,Takuyuki K.,Ai S.,Syuji K., Hiroaki N., 2010. *A Study on Evacuation Simulation after Earthquake in Consumer Facilities*, Fifth International Conference on Pedestrian and Evacuation Dynamics.

Alexander D., 2002. *From civil defence to civil protection – and back again.* Disaster Prevention and Management 11 (2002), 209–213.

Antonioni G., Bonvicini S., Spadoni G., Cozzani V., 2009. *Development of a framework for the risk assessment of Na-Tech accidental events.* Reliability Engineering and system safety 94 (2009), 1442–1450.

April entreprise, 2011. *Rôle des assureurs dans la gestion du risque inondation*, Document interne April entreprise.

Aria, Accueil, Consulté le 7/11/2010. URL http://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/.

ARIA, Accidentologie de l'activité de traitements de surfaces, Consulté le 2/12/2010. URL http://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/Accidentologie-de-l-activite-de-traitements-de-surfaces--752.html.

Ayrault N., Tritsch J.-J., Vuidart I., Gaston D., 2001. *Risques Naturels et Environnement Industriel (DRA-013) Opération a: Synthèse sur les risques dus aux séismes, inondations, mouvements de terrain et tempêtes-accidentologie* (Rapport intermédiaire). INERIS.50p.

BARPI, 2011. *Précipitations atmosphériques et inondations-Eléments d'accidentologie industrielle*. Rapport MEDDE.40p.

Bernuchon E., Salvi O., Debray B., 2006. *Formalisation du savoir et des outils dans le domaine des risques majeurs (DRA-35)- Méthodes d'analyse des risques générés par une installation industrielle*. Rapport d'étude No. DRA-35. INERIS-MEDDE.140p.

Bouissou S., 2011. Réduction de la vulnérabilité face aux aléas inondation- Présentation Bureau Véritas. Colloque Risque Natech, 4 Octobre 2011, Université de Haute Alsace, Mulhouse.

Braesch C., Haurat A., 1995. *La modélisation systémique en entreprise*; Hérmès. ed. Paris. 288 p.

Campedel M., 2008. *Analysis of major industrial accidents triggered by natural events reported in the principal available chemical accident databases.* JRC Scientific and technical reports.38p.

Campedel M., Antonioni G., Cozzani V., Consulté le 25/01/2011. *A framework for the assessment of the industrial risk caused by floods*, in: Safety, Reliability and Risk Analysis: Theory, Methods and Applications, Taylor and Francis Group. London.

CEPRI, EPL, 2007. *Convention de subvention 2007 entre l'établissement public Loire et l'association centre européen de prévention du risque d'inondation*. Rapport de synthèse sur l'analyse des expériences relatives à la réduction de la vulnérabilité aux inondations des entreprises.47p.

CETIM, 2009. *Traitements et revêtements de surface par voie humide- Informations réglementaires et pratiques*. Rapport.24p.

Chaudet-Bressy F., 2002. *Apport du REX à la maîtrise des risques relatifs à l'hygiène, la sécurité et l'environnement, dans les petits établissements industriels. Application à l'industrie de traitement thermique.* Thèse de doctorat. Institut national des sciences appliquées de Lyon et Ecole Nationale Supérieure des mines de Saint Etienne.

Commission EU, 2005. *Prévention et réduction intégrées de la pollution.* Document de référence sur les meilleures techniques disponibles pour le traitement de surface des métaux et matières plastiques. Espagne.581p.

Cozzani V., Gubinelli G., Antonioni G., Spadoni G., Zanelli S., 2005. *The assessment of risk caused by domino effect in quantitative area risk analysis.* Journal of hazardous Materials 127 (2005), 14–30.

Cozzani V., Campbel E., Renni E., Krausmann E., 2010. *Industrial accidents triggered by floods events: Analysis of past accidents.* Journal of Hazardous Materials 175 (2010), 501–509.

Cruz A. M., 2003. *Joint Natural and Technological Disasters: Assessment of Natural Disaster Impacts on Industrial Facilities in Highly Urbanized Areas*. Dissertation. Tulane University, New Orleans, LA., 212 p.

Cruz A. M., Steinberg L. J., Vetere Arellano A. L., Nordvik J-P, Pisano F., 2004. *State of the art in Natech Risk Management* (No. EUR 21292 EN). Joint Research Center.59p.

Cruz, A. M., Steinberg L.J., 2005. *Industry Preparedness for Earthquakes and Earthquake-Triggered Hazmat Accidents during the Kocaeli Earthquake in 1999: A Survey*. Earthquake Spectra, 21(2), 285-303.

Cruz A. M., Steinberg L. J., Vetere Arellano A. L., 2006. *Emerging Issues for Natech Disaster Risk Management in Europe.* Journal of Risk Research 9 (2006), 483–501.

Cruz A. M., Kraussman E., 2007. *Results of the workshop: Assessing and managing Natechs (Natural hazard triggered technological accidents* (No. EUR Report 23288). Joint Research Centre, European Commission.

Cruz A. M., Okada N., 2008. *Consideration of natural hazards in the design and risk management of industrial facilities*. Natural Hazards 44 (2008), 213–227.

Cruz A. M.,Krausmann E., 2008. *Damage to offshore oil and gas facilities following hurricanes Katrina and Rita: An overview*. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 21 (6), 620–626.

Cruz A.M., Krausmann E., Franchell, G., 2011. *Analysis of tsunami impact scenarios at an oil refinery*. Natural Hazards (2011) 58: 141-162.

Dassens A., 2007. *Méthode pour une approche globale de l'analyse de risques en entreprise.* Thèse de doctorat en Sciences et génie de l'environnement. Université de Haute Alsace. 280p.

D'Ercole R., 1994. *Les vulnérabilités des sociétés et des espaces urbanisés : concepts, typologie, modes d'analyse*. Revue de Géographie Alpine 4 (1994), 87–96.

Egli T., 2002. *Prévention du risque de dommages liés aux inondations: Mesures générales et leur efficacité.* Commission internationale pour la protection du Rhin. Rapport.50p.

EL HAJJ C., Piatyszek E., Laforest V., 2012. *Development of generic scenarios of industrial accidents triggered by floods: a first step toward decreasing the vulnerability of industrial facilities.* Proceedings de Risk analysis VIII, C.A. Brebbia Wessex Institut of Technology UK, 19-21 Septembre 2012, Croatia, pp. 103–114.

EPL, Démarche "industrielle", Consulté le 10/11/2010. URL http://www.plan-loire.fr/fr/les-plates-formes/prevention-des-inondations/demarche-industrielle/index.html .

Esposito C., Germano V., Gérard A., 2006. *Etude de sensibilité des sites SEVESO au risque inondation en région Provence Alpes Côte d'Azur*. Rapport interne CETE méditerranée et DRIRE PACA.

European environment agency, 2010. *Mapping the impacts of natural hazards and technological accidents in Europe - An overview of the last decade* (EEA Technical report No. 13/2010).144p.

Flaus J.-M., 2008. *A model-based approach for systematic risk analysis. Journal of risk and reliability* 222 (2008), 79–93.

Flaus J.-M., 2013. *Risk analysis- Socio-technical and industrial systems*. Systems engineering series. Wiley.400p.

Franchello G., Krausmann E., 2008. *HyFlux2: a numerical model for the impact assessment of severe inundation scenario to chemical facilities and downstream environment*. EUR 23354 EN, European Communities.

GAIDA B., 1995. *L'électroplastie en questions et réponses pour les étudiants et les autodidactes.*. France. 293p.

Galderisi A., Ceudech A., Pistucci M., 2008. *A method for na-tech risk assessment as supporting tool for land use planning mitigation strategies.* Natural Hazards (2008) 46:221-241.

GAMBELLI F., CLEMENT M., DUJARIC P., HUBERT S., LEPEE J.-L., BRIQUET R., COSTES B., 2005. *Guide de classement dans la nomenclature des installations classées-Ateliers de traitement de surface et prévention des risques technologiques,* Rapport.73p.

Gardes L., 2001. *Méthodologie d'analyse des dysfonctionnements des systèmes pour une meilleure maîtrise des risques industriels dans les PME: Application au secteur de traitement de surface.* Thèse de doctorat. Institut des sciences appliquées de Lyon et Ecole Nationale Supérieure des mines de Saint Etienne.215p.

Garry G., Graszk E., 1999. *Plans de prévention des risques naturels (PPR) : guide méthodologique. Risques d'inondation/Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement, Direction de la prévention des pollutions et des risques*, Sous-direction de la prévention des risques majeurs ; Direction de l'eau, Sous-direction de la gestion des eaux, Guides de la Documentation Française, Paris.136p.

Girgin S., Kraussman E., 2012. *Rapid Natech Risk assessment and mapping tool for earthquakes: Rapid-N*. Chemical engineering transactions 26 (2012), 93–98.

Graillot D., 2012. *Eléments de modélisation en sciences de l'environnement*. Document Interne Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint Etienne.

Grandamas O., 2010. *Méthode MADS-MOSAR- Pour en favoriser la mise en œuvre.* Techniques de l'ingénieur. Référence: se4062.

Grislain-Letrémy C., Peinturier C., 2010. *Le régime d'assurance des catastrophes naturelles en France Métropolitaine entre 1995 et 2006*. Rapport MEDDE.

GSC MEDDE, 2007. *PME/PMI, artisans, commerçants: vous pensez etre pret à faire face à une inondation? Guide pour réduire la vulnérabilité de votre entreprise face au risque d'inondation,* Guide MEDDE.

Hadj Mabrouk H., Hamdaoui F., 2008. *Apport du retour d'expérience à l'analyse des risques.* Présenté au 16ème congrès de maîtrise des risques et de sûreté de fonctionnement, 6-10 Octobre 2008, Avignon.

HTV, 2012. *Plan de prévention des risques naturels liés aux inondations de la Coise et de ses affluents Etude hydrologique, hydrogéomorphologique et hydraulique.* Rapport.75p.

IDDIR O., Consulté le 15/05/2011. *Le nœud papillon: une méthode de quantification du risque majeur*. Techniques de l'ingénieur. Référence: se4055.

INERIS, 2004. *Analyse des risques et prévention des accidents majeurs-Guide pour la prise en compte du risque inondation* (Rapport partiel d'opération f No. DRA-34). MEDDE-Unité Evaluation des risques-Direction des risques accidentels.82p.

INERIS, 2010. *Guide technique- Application de la classification des substances et préparations dangereuses à la nomenclature des installations classées. Rapport interne.*

INRS, Consulté le 21 août 2012. « INRS - Dangers associés aux produits chimiques ». http://www.inrs.fr/accueil/risques/chimiques/dangers-produits.html.

ISO, 2002. *Guide ISO/CEI 73: Management du risque - Vocabulaire- Principes directeurs de l'utilisation dans les normes.*

Karagiannis G.-M., 2010. *Méthodologie pour l'analyse de la robustesse des plans de secours industriels.* Thèse de doctorat. Ecole nationale supérieure des Mines de Saint Etienne, Saint Etienne.320p.

Kon E., Salzano E., Krausmann E., Reimeringer M., 2010. *Methodological issues: screening of vulnerability and analysis of Natech accidental risk* (EU-Project no. CP-IP 213345-2 iNTeg-Risk - Early recognition, monitoring and integrated management of emerging, new technology related risks). Rapport JRC, INERIS.83p.

Kraussman E., Mushtaq F., 2008. *A qualitative natech damage scale for the impact of floods on selected industrial facilities.* Natural Hazards 46 (2008), 179–197.

Krausmann E., Cruz A.M., Affeltranger B., 2010. *The impact of the 12 May 2008 Wenchuan earthquake on industrial facilities.* Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 23, 242-248.

Krausmann E., Cozzani V., Salzano E., Renni E., 2011. *Industrial accidents triggered by natural hazards: an emerging risk issue. Natural hazards earth system sciences* 11 (2001), 921–929.

Krausmann E., 2012. *Natech risk reduction in OECD member countries: results of a questionnaire survey.* Proceedings du OECD workshop-Natech risk management Workshop Proceedings, 23-24 Mai 2012, Dresden, Allemagne.

Krausmann, E., Cruz A.M., 2013. *Impact of the 11 March, 2011, Great East Japan earthquake and tsunami on the chemical industry*. *Natural Hazards*, Online first, DOI 10.1007/s11069-013-0607-0.

Lacourcelle L., 1997. *Traité de galvanotechnique*. France. 565 p.

Laforest V., 1999. *Technologies propres : Méthodes de minimisation des rejets et de choix des procédés de valorisation des effluents. Application aux ateliers de traitement de surface.* Thèse de doctorat. Institut national des sciences appliquées de Lyon et Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint Etienne.

Ledoux B., Hubert G., 1999. *Le cout du risque...L'évaluation des impacts socio-économiques des inondations*. Presses de l'École nationale des ponts et chaussées, Paris. 232p.

Ledoux B., 2000. *Guide pour la Conduite des Diagnostics des Vulnérabilités aux Inondations pour les Entreprises Industrielles.* Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement Direction de la prévention des pollutions et des risques Sous-direction de la prévention des risques majeures

Ledoux B., 2006. *La gestion du risque inondation*. Lavoisier, Londres. 766p.

Lévy J., Lussault M., 2003. *Dictionnaire de géographie et de l'espace des sociétés.* Belin, Paris. 974 p.

Lindell M. K., Perry R.W., 1997. *Hazardous Materials Releases in the Northridge Earthquake: Implications for Seismic Risk Assessment.* Risk Analysis, 17 (2), pp. 147-156.

Loat R., Zimmermann M., 2004. *La gestion des risques en Suisse*. Dans: Veyret, Y., et al. (eds): Risques naturels et aménagement en Europe. Armand Colin, Paris, p. 108-120.

Londiche H., 2004. *Analyse des risques*. Document interne. Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint Etienne.

Mengual P.-G., 2005. *Contribution à la caractérisation de la vulnérabilité des PME-PMI aux inondations: Vers un instrument méthodologique d'autodiagnostic*. Thèse de doctorat. Ecole des mines de Paris - Sophia Antipolis.225p.

MEDDE DPPR, 2005a. *Plan de prévention des risques technologiques*- Guide méthodologique.136p.

MEDDE DPPR, 2005b. *Eléments pour l'élaboration des plans de prévention du risque inondation- La mitigation en zone inondable- Réduire la vulnérabilité des biens existants* (Rapport d'étape).52p.

MEDDE, 2004. *Les inondations- Dossier d'information risques naturels majeurs.* Rapport.

MEDDE, 2007. *Le risque industriel* - Dossier d'information risques technologiques majeurs.24p.

MEDDE, EPL, 2008. *Quinze expériences de réduction de la vulnérabilité de l'habitat aux risques naturels. Quels enseignements ?.* Rapport.36p.

MEDDE-Direction des risques accidentels, 2004. *ARAMIS Développement d'une méthode intégrée d'analyse des risques pour la prévention des accidents majeurs* (Rapport final). INERIS.108p.

MEDDE, 2013. *Quand le risque naturel rencontre le risque technologique- Panorama des accidents industriels survenus lors du grand séisme et tsunami du Tohuku.* Rapport.

MEDDE Auvergne, Consulté le 4/12/13. Prévention des Risques Accidentels: Fonctions et barrières de sécurité.
URL http://www.risques.auvergne.developpement-durable.gouv.fr/extras/glossaire/fonctions-et-barrieres-de-securite/index.htm.

MEDDE, Consulté le 20/08/2013 Une vue d'ensemble par Jocelyne Dubois-Maury (2007) - Outil de l'aménagement.
URL http://www.outil2amenagement.certu.developpement-durable.gouv.fr/une-vue-d-ensemble-par-jocelyne-a635.html.

METL, 2010. *Construire en montagne- La prise en compte du risque torrentiel*. Rapport.125p.

METL MEDDE, 2012. *Référentiel de travaux de prévention du risque d'inondation dans l'habitat existant.* Rapport.81p.

Mortureux Y, Consulté le 20 Juin 2011. Arbres de défaillance, des causes et d'évènement. Techniques de l'ingénieur. Référence: se4050.

Norio O., Tao Y., Yoshio K., Peijun S., Hirokazu T., 2011. *The 2011 Eastern Japan great earthquake disaster: Overview and comments.* International Journal of Disaster Risk Science, 2(1): 34-42.

NU, ISDR, 2009. *2009 UNISDR Terminologie pour la prévention des risques de catastrophe.*

Périlhon P., 2005. *Projet d'initiative communautaire- Institut Méditerranéen de la qualité. Sujet Qualité dans le territoire: Modélisation d'une inondation à l'aide de la méthode MADS/MOSAR, intégration à l'outil QUATER (inondation d'Oliva)*. Rapport intermédiaire.

Périlhon P., 2007. *La gestion des risques- Méthodes MADS MOSAR II - Manuel de mise en oeuvre*, Les éditions demos. ed. 253p.

Périlhon P., Consulté le 24/01/2013. *MOSAR Présentation de la méthode*. Techniques de l'ingénieur. Référence: se4060.

Piatyszek E., Karagiannis G.M., 2012. *A model-based approach for a systematic risk analysis of local flood emergency operation plans: a first step toward a decision support system*. Natural Hazards 61 (2012), 1443-1462.

Pollet Y, Consulté le 15 Mars 2013.. *La modélisation des systèmes*. Présentation interne CNAM.

Prévot A., *L'expertise de l'INERIS sur les Natech*, Rapport interne de l'INERIS.

Prim.net, Consulté le 21 Février 2013. Plan Loire : *diagnostic gratuit de vulnérabilité pour les entreprises situées en zone inondable* URL:http://www.risquesmajeurs.fr/plan-loire-diagnostic-gratuit-de-vuln%C3%A9rabilit%C3%A9-pour-les-entreprises-situ%C3%A9es-en-zone-inondable.

Rasmussen K., 1995. *Natural events and accidents with hazardous materials.* Journal of hazardous Materials 40 (1995), 43–54.

Raymond G., 2009. *Réduction des impacts environnementaux des ateliers de traitement de surface : application de stratégies de production plus propre et plus sûre.* Thèse de doctorat. Ecole nationale supérieure des Mines de Saint Etienne.279p.

Reitherman, R. K. 1982. *Earthquake-Caused Hazardous Materials Releases. Hazardous Materials Spills Conference Proceedings*, Milwaukee, April 19-22, 51-58.

Risque.gouv.fr, Consulté le 01/10/2012.
URL *http://www.risques.gouv.fr/risques-technologiques/accident-industriel*.

Risques naturels - notre-planete.info, Consulté le 25/01/2013.
URL *http://www.notre-planete.info/terre/risques_naturels/* .

Rota R., Caragliano S., Manca D., Brambilla S, Consulté le 7 Novembre 2011. *A short cut methodology for flood-technological risk assessment.* Rapport.

SPPPI, 2008. *Prise en compte du risque inondation dans les études de dangers des installations classées.* Rapport No. 8. 20p.

Santella N., Steinberg L.J, Sengul H., 2010. *Petroleum and hazardous material releases from industrial facilities associated with Hurricane Katrina.* Risk Analysis, 30(4):635-649.

Steinberg L. J., Sengul H., Cruz A. M., 2008. *Natech risk and management: an assessment of the state of the art. Nat Hazards* 46 (2008), 143–152.

Techniques de l'ingénieur, Consulté le 25/01/2013. Mettre en place un Système de gestion de la sécurité (SGS) - Techniques de l'Ingénieur. URL https://vpnssl.emse.fr/fiche-pratique/environnement-securite-th5/exploiter-une-icpe-dt27/mettre-en-place-un-systeme-de-gestion-de-la-securite-sgs-0051/,DanaInfo=www.techniques-ingenieur.fr+.

Techniques de l'ingénieur, Consulté le 15 Janvier 2013. *Etude des dangers: mesures de maîtrise des risques (barrières)*.

Tixier J., 2002. *Méthodologie d'évaluation du niveau de risque d'un site industriel de type Seveso, basé sur la gravité des accidents majeurs et la vulnérabilité de l'environnement.* Thèse de doctorat. Université d'Aix-Marseille 1.

United States Environmental Protection Agency, 1997. *Lightning hazard to facilities handling flammable substances*, EPA 550-F-97-002c.

Vallée A., Duval C., Reimeringer M., 2011. *Présentation des travaux de l'INERIS sur la prise en compte du risque inondation au niveau des installations industrielles à risques.* Colloque Risque Natech, 4 Octobre 2011, Université de Haute Alsace, Mulhouse.

Vernadat F., 1999. *Techniques de modélisation en entreprise: Applications aux processus opérationnels*. Economica, France. 129p.

Vernadat F. B., 2010. *Entreprise modelling and integration. Principles and applications.* Chapman and Hall, Londres. 513p.

Veyret Y., Beucher S., Reghezza M., 2004. *Les risques*. Bréal. ed, Amphi Géographie-Capes/Agrégation. Paris.205p.

Villemeur A., 1988. *Sûreté de fonctionnement des systèmes industriels*. Eyrolles. ed. Paris. 822p

Vinet F., 2010. *Le risque inondation: diagnostic et gestion*, SRD Sciences du risque et du danger. Ed. Rec et doc., Paris. 316p.

Wassenhove W. V., Garbolino E., 2008. *Retour d'expérience et prévention des risques - Principes et méthodes*. Lavoisier. ed, SRD Sciences du risque et du danger.72p.

Wells G., 1997. *Major hazards and their management*. Institution of chemical engineers. ed. USA. 315p.

Young S., Balluz L., Malilay J., 2004. *Natural and technologic hazardous material releases during and after natural disasters: a review. Science of the total environment* 332 (2004), 3–20.

Annexes

Annexe 1 : Liste de rapports d'accidents et des publications académiques ou de centres de recherche examinés.

Ayrault N., Tritsch J.-J., Vuidart I., Gaston D., 2001. *Risques Naturels et Environnement Industriel (DRA-013) Opération a: Synthèse sur les risques dus aux séismes, inondations, mouvements de terrain et tempêtes-accidentologie*. Rapport intermédiaire. INERIS. 50p.

Christophe O., 2008. *Vulnérabilité de la communauté urbaine de Strasbourg aux inondations de la Bruche et de l'Ill- Estimation économique du cout des inondations*. Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'ingénieur de l'ENGEES. ENGEES - Communauté Urbaine de Strasbourg.101p.

Cruz A. M., Kraussman E., 2009. *Hazardous-materials releases from offshore oil and gas facilities and emergency response following Hurricanes Katrina and Rita*. Journal of loss prevention in process industries 22 (2009): 59-65.

Ecodécision, 2006. *Evaluation économique des dommages liés aux inondations*. Rapport final. Agence de l'eau Artois-Picardie.

EPA, 2009. *Risk management program guidance for offsite consequence analysis*.134p.

EPL, 2005. *Retour d'expérience sur la crue de décembre 2003*, Rapport. 60p.

Esposito C., Germano V., Gérard A., 2006. *Etude de sensibilité des sites SEVESO au risque inondation en région Provence Alpes Côte d'Azur*. CETE méditerranée et DRIRE PACA.55p.

Gautam K.P., Van der Hoek E.E., 2003. *Litterature study on environmental impact of floods*. Intermediate report or study. Delft Cluster.57p.

Hickey John T., Salas Jose D., 2005. *Environmental effects of extreme floods*. Rapport. Perugia Italy.

Hoyois, P., Guha-Sapi D., 2004. *Disasters caused by flood: Preliminary data for 30 year assessment of their occurrence and human impact.* Health and flood risk workshop: A strategic Assessment of Adaptation processes and policies. Tindall center for climate change research, Université d'East Anglia, Norwich, 18-20 Juillet, 2004.

Hudec P., Luks O., 2004. *Flood at spolana a.s. in August 2002*. Loss prevention bulletin n° 180.

Huet P., Martin X., Prime J.-L., Foin P., Laurain C., Canard P., 2003. *Retour d'expérience des crues de septembre 2002 dans les départements du Gard, de l'Hérault, du Vaucluse, des Bouches-du-Rhône, de l'Ardèche et de la Drome*. Rapport. 133p.

Hydratec, 2009. *Retour d'expérience des crues de la Loire et de l'Allier de novembre 2008- Synthèse des principaux résultats de l'enquête menée auprès des communes riveraines*. 163p.

INERIS, 2004. *Analyse des risques et prévention des accidents majeurs-Guide pour la prise en compte du risque inondation*. Rapport partiel d'opération f. MEDDE-Unité Evaluation des risques-Direction des risques accidentels,.82p.

Khan, F.I. & Abbasi, S.A., 1998. *Models for domino effect analysis in chemical process industries*. Process Safety Progress, 1998.

Kraussman E., Renni E., Campedel M., Cozzani V., 2011. *Industrial accidents triggered by earthquakes, floods and lightning: lessons learned from a database analysis*. Natural Hazards 59 (2011): 285-300.

Ledoux B., 2000. *Guide pour la conduite des diagnostics des vulnérabilités aux inondations pour les entreprises industrielles*. Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement Direction de la prévention des pollutions et des risques Sous-direction de la prévention des risques majeures.

Messner F., Penning-Rowsell E., Green C., Meyer V., Tunstall S., Van der Veen A., 2007. *Evaluating flood damages: guidance and recommendations on principles and methods*.189p.

Nadal N. C., 2007. Expected flood damage to buildings in riverine and coastal zones. Rapport de l'université of puerto rico.410p.

OECD, 2006. *OECD studies in risk management Italy - Industrial hazards triggered by floods*.68p.

Pauc J.-C., Le quentrec M., 2009. *Mission sur les inondations- Sainte Maxime les 18 et 19 septembre 2009*. Conseil général de l'environnement et du développement durable, Rapport. 70p.

Pedreros R., Garcin M., Krien Y., Monfort C. D., Mugica J., François B., 2010. *Tempête Xynthia: compte rendu de mission préliminaire*. Rapport BRGM.57p.

Reinders Ir J.E.A, Ham., 2003 *Casualties resulting from flooding of industrial sites*. Rapport intermédiaire. Delft Cluster, 2003.27p.

Renni E., Basco A., Busini V., Cozzani V., Kraussman E., Rota R., Salzano E., 2010. *Awarness and mitigation of Natech accidents: Toward a methodology for risk assessment*, Chemical Engineering Transactions 19 (2010) 383-389.

Rouzeau M., Martin X., Pauc J.-C., 2010. *Retour d'expérience des inondations survenues dans le département du Var les 15 et 16 Juin 2010*, Rapport. 94p.

Sengul H., Santella N., Steinberg L. J., Cruz A. M., 2012. *Analysis of hazardous material releases due to natural hazards in the United States*. The journal of disaster studies (2012): 21.

Showalter P. S., Myers M. F., 1994. *Natural Disasters in the United States as Release Agents of Oil, Chemicals, or Radiological Materials Between 1980-9: Analysis and Recommendations*. Risk Analysis, 14(2), 169-181.

SPPPI, 2008. *Prise en compte du risque inondation dans les études de dangers des installations classées*, Rapport. 20p.

Vallée A., Dolladille O., 2003. *Impact des inondations du Sud-Est (septembre 2002) sur les activités présentant un risque technologique*. Rapport partiel d'opération f. INERIS.

Young S., Balluz L., Malilay J., 2004. *Natural and technologic hazardous material releases during and after natural disasters: a review.* Science of the total environment 332 (2004): 3-20.

Annexe 2 : Impacts de l'inondation sur un territoire.

Les composantes du territoire qui constituent des enjeux (ou cibles) en cas d'inondation sont : Les habitats/ménages, les activités industrielles, artisanales et commerciales, les activités agricoles, les activités de services et équipements publics, les réseaux et infrastructures, le développement local, l'environnement, le patrimoine culturel et historique (Ledoux et Hubert, 1999).

Chacun de ces enjeux présente une vulnérabilité à une inondation qui se traduit par des dommages ou impacts directs et indirects. Ces différents impacts directs et indirects de l'inondation sur ces cibles sont présentés dans le tableau suivant.

Tableau : Les impacts directs et indirects d'une inondation sur un territoire (Ledoux et Hubert, 1999).

Cibles/Enjeux	Impacts/Dommages directs	Impacts/Dommages indirects
Habitat/Ménage	Dégradation des biens immobiliers et mobiliers, pertes de vies humaines	Coût de nettoyage/séchage, coût de relogement, effets psychologiques, effets sur la santé à long terme
Activités industrielles, artisanales et commerciales	Dégradation ou destruction des biens immobiliers et mobiliers, de l'outil de travail, des stocks, pertes de vie humaine	Chômage technique, perte d'exploitation, coût de nettoyage/séchage, effets psychologiques sur les employés et les responsables
Activités agricoles	Dégradation ou destruction du siège d'exploitation, destruction des cultures et pertes de fonds, destruction du cheptel, pertes de vies humaines	Perte d'exploitation, coût de nettoyage/séchage, effets psychologique sur l'exploitant
Activités de services et équipements publics	Dégradation ou destruction des biens immobiliers et mobiliers	Coût de nettoyage/séchage, coût de l'organisation des secours, coût de l'interruption des services, Inconvénients subis par les usagers
Réseaux et infrastructures	Dégradation ou destruction du patrimoine	Coût de l'interruption de fonctionnement, Inconvénients subis par les usagers
Développement local	-	Détérioration des finances locales, baisse du prix du foncier et de l'immobilier, inconvénients subis par les citoyens et la société
Environnement	-	Evolution des milieux naturels dans le temps
Patrimoine culturel, historique…	Dégradation ou destruction du patrimoine, perte de biens irremplaçables	Coût de nettoyage/séchage

Annexe 3 : Typologie d'équipements industriels potentiellement critiques présentée dans le cadre du projet ARAMIS.

Numéro	Type d'équipements	Définition
		Unités de stockage
EQ1	Stockage en vrac solide	Stockage de substances sous forme solide (poudres ou billes). Les substances y sont stockées en vrac ou en siols (les stockages sous forme de sacs ne font pas partie de cette catégories)
EQ2	Stockage de solides en petits contenants	Stockage de solides sous forme de petits contenants ou réservoirs de capacité inférieure à 1 m^3
EQ3	Stockage de liquides en petits contenants	Stockage de liquides sous forme de petits contenants ou réservoirs de capacité inférieure à 1 m^3
EQ4	Stockage sous pression	Réservoirs de stockage à température ambiante et à une pression supérieure à 1 bar. La pression est celle du fluide à sa saturation ou peut être celle d'un gaz inerte. La substance peut être un gaz liquéfié sous pression (deux phases en équilibre) ou un gaz sous-pression (une phase gaz).
EQ5	Stockage à pression supérieure à la pression de saturation	Réservoirs de stockage fonctionnant à température ambiante et à une pression supérieure à 1 bar. La pression est exercée par un gaz inerte par exemple et maintient le stockage à une pression supérieure à sa pression de saturation. Le stockage contient une substance en phase liquide.
EQ6	Stockage atmosphérique	Stockage à pression et température ambiante, contenant un liquide. La substance peut être un gaz liquéfié sous pression (deux phases en équilibre) ou un gaz sous pression (une phase gaz).
EQ7	Stockage cryogénique	Stockage fonctionnant à pression atmosphérique (ou moins) et basse température. La substance est un gaz liquéfié réfrigéré.
		Unités de chargement
EQ8	Equipement de transport sous-pression	Equipement de transport à température ambiante et pression supérieure à 1 bar (pression exercée par la substance elle-même).
EQ9	Equipement de transport atmosphérique	Equipement de transport à pression et température ambiante comportant une substance liquide.
		Réseaux de canalisations
EQ10	Canalisation	Canalisations entre deux unités, les canalisations dans l'unité sont liées aux divers équipements.
		Equipements process
EQ11	Stockage intermédiaire dans le procédé	Equipement de stockage dans l'unité (peut être stockage sous-pression, cryogénique…)
EQ12	Equipements avec réactions chimiques	Equipement avec réaction chimique, par exemple réacteur.
EQ13	Equipements séparation physique ou chimique	Equipement séparation physique ou chimique (par exemple colonne de distillation, filtres, sécheurs…).
EQ14	Equipement de production et fourniture d'énergie	Equipement de production et fourniture d'énergie (par exemple fours, chaudières,…)
EQ15	Equipement de conditionnement	Equipements dédiés au packaging des substances (exclut les packages eux-mêmes).
EQ16	Autres équipements	Autres équipements (pompes…)

Annexe 4 : Typologie des systèmes sources de danger en milieu industriel concernés par le risque Natech inondation.

Les systèmes sources de danger (dans l'installation industrielle)

Ch- Systèmes sources d'onde de choc

Pr- Systèmes sources d'onde de pression (explosion)

Th- Systèmes sources d'ondes thermiques

P- Systèmes sources de pollution

El- Systèmes sources de danger d'origine électrique

En- Systèmes sources de danger d'origine énergétique et de régulation

E- Systèmes sources de danger liés à l'environnement (Inondation)

Ch- Système sources d'onde de choc (incluant les missiles)

- Equipements critiques : réservoirs de stockage, réservoirs de stockage intermédiaire, canalisations, réacteurs (fermés ou ouverts)
- Bâtiments de l'entreprise
- Equipements électriques
- Autres équipements non critiques

Pr- Systèmes sources d'onde de pression (explosion)

- Systèmes sources de réaction d'emballement (notamment les équipements critiques : réacteurs et réservoirs de stockage)
- Systèmes sources de réactions chimiques secondaires (notamment les équipements critiques : réacteurs et réservoirs de stockage)
- Systèmes sources liés aux produits chimiques (incompatibles avec l'eau, inflammables, réagissant avec les ondes de chaleur) :
    - Renversés par les équipements critiques
    - Contenus dans les équipements critiques

Th- Systèmes sources d'ondes thermiques (incendie, court-circuit, arc électrique, surface surchauffée, missile chauffée)

- Systèmes sources de réactions chimiques secondaires (notamment les équipements critiques : réacteurs et réservoirs de stockage)
- Systèmes sources liés aux produits chimiques (incompatibles avec l'eau, inflammables) :
    - Renversés par les équipements critiques
    - Contenus dans les équipements critiques
- Systèmes sources de missiles chauffées : les équipements critiques, non critiques, électriques, et les bâtiments
- Systèmes sources de surface surchauffée : Canalisations transportant des liquides caloporteurs, les équipements critiques, non critiques, électriques, et les bâtiments
- Systèmes sources de court-circuit et d'arc électrique : les systèmes électriques

P- Systèmes sources de pollution

- Systèmes sources de diffusion de produits chimiques dans les eaux d'inondation (les équipements critiques : réservoirs de stockage, réservoirs de stockage intermédiaire, canalisations, réacteurs (fermés ou ouverts))
- Systèmes sources de diffusion de gaz toxiques : systèmes sources liés aux produits chimiques (incompatibles avec l'eau, inflammables, réagissant avec les ondes de chaleur) :
    - Renversés par les équipements critiques
    - Contenus dans les équipements critiques

El- Systèmes sources de danger d'origine électrique (onde thermiques- arc électrique, coupure électrique)

L'ensemble des équipements électriques présents sur le site :

- Systèmes mettant en œuvre de l'électricité à courant continu ou alternatif
- Systèmes sources d'électricité statique
- Systèmes condensateurs de puissance électrique
- Systèmes générateurs de hautes fréquences

En- Systèmes sources de danger d'origine énergétique et de régulation

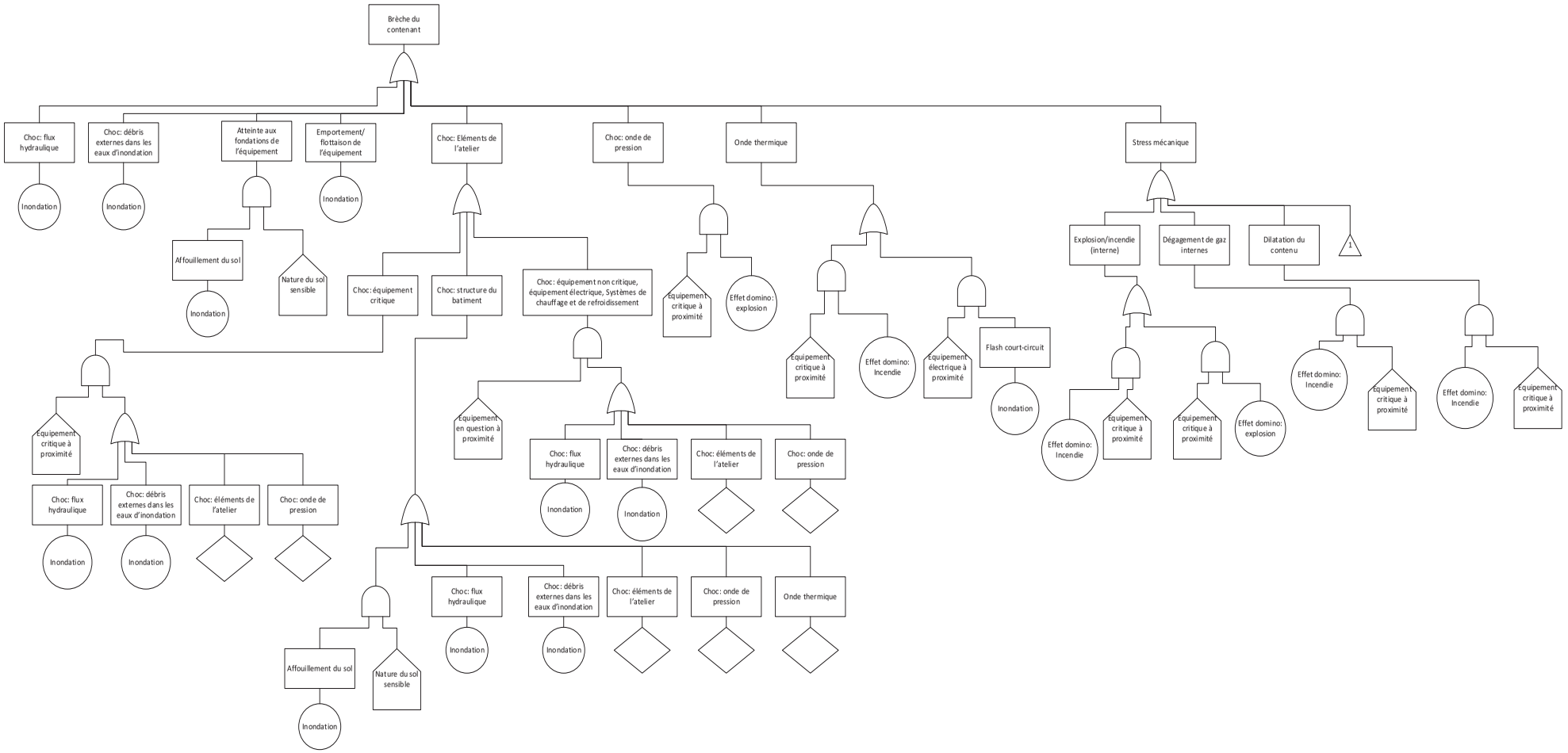
- Systèmes de contrôle : de température et de niveau
- Systèmes de refroidissement
- Systèmes de chauffage

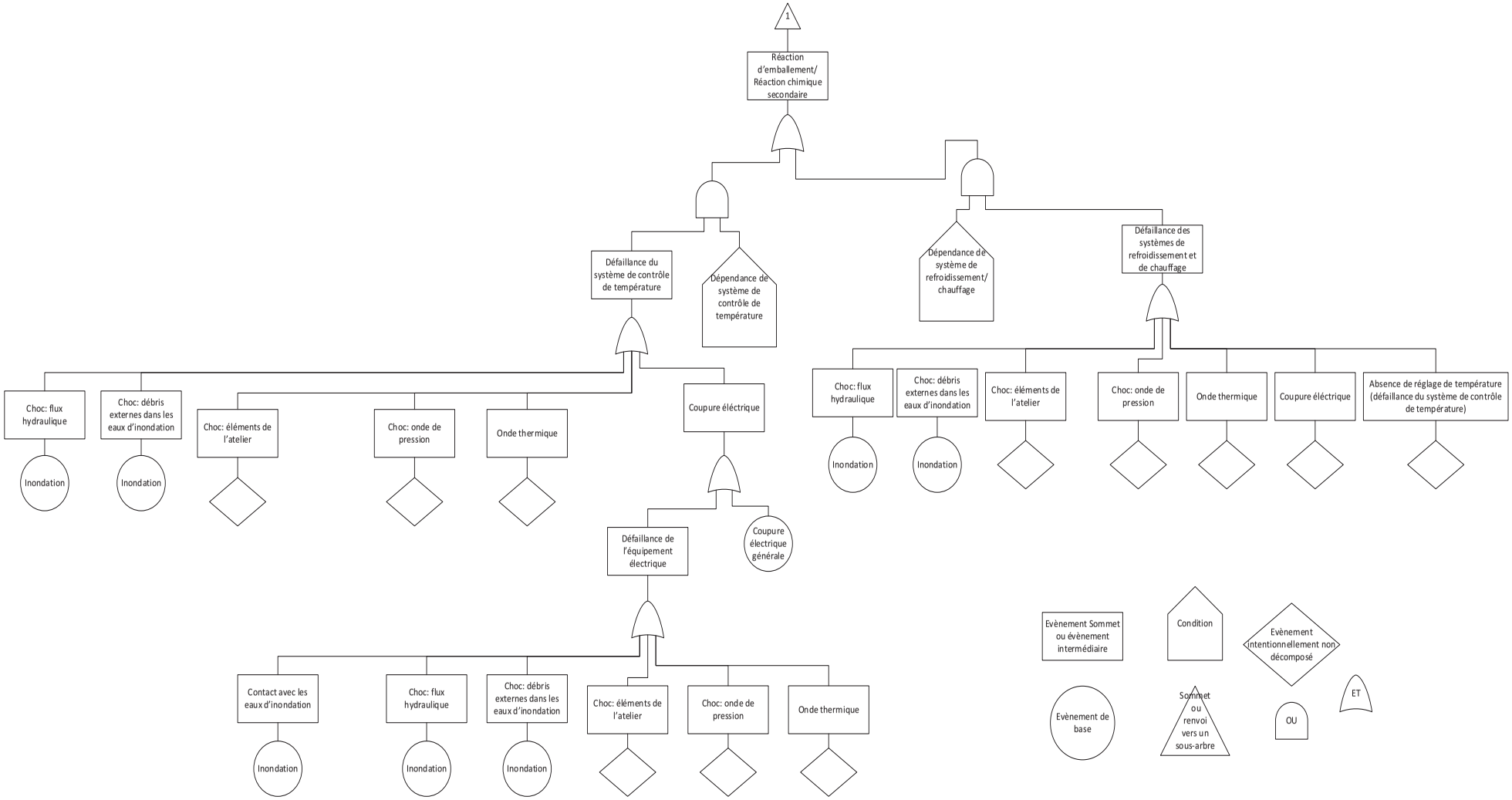
E- Systèmes sources de danger liés à l'environnement (Inondation) (réservé au SS5 sous-système environnement- qui est également considéré comme la cible finale des accidents Natech inondation)

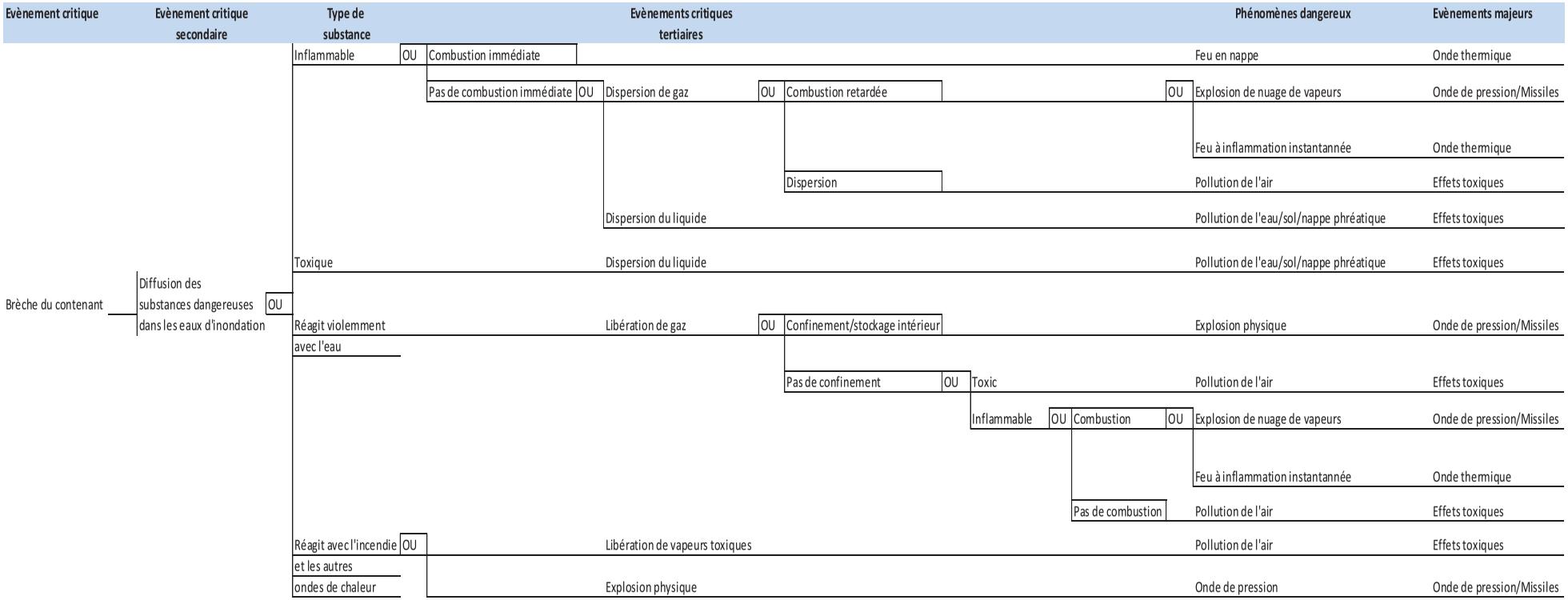
- Flux hydraulique des eaux d'inondation
- Débris externes contenus dans les eaux d'inondation
- Les eaux d'inondation

Annexe 5 : Nœuds papillons génériques.

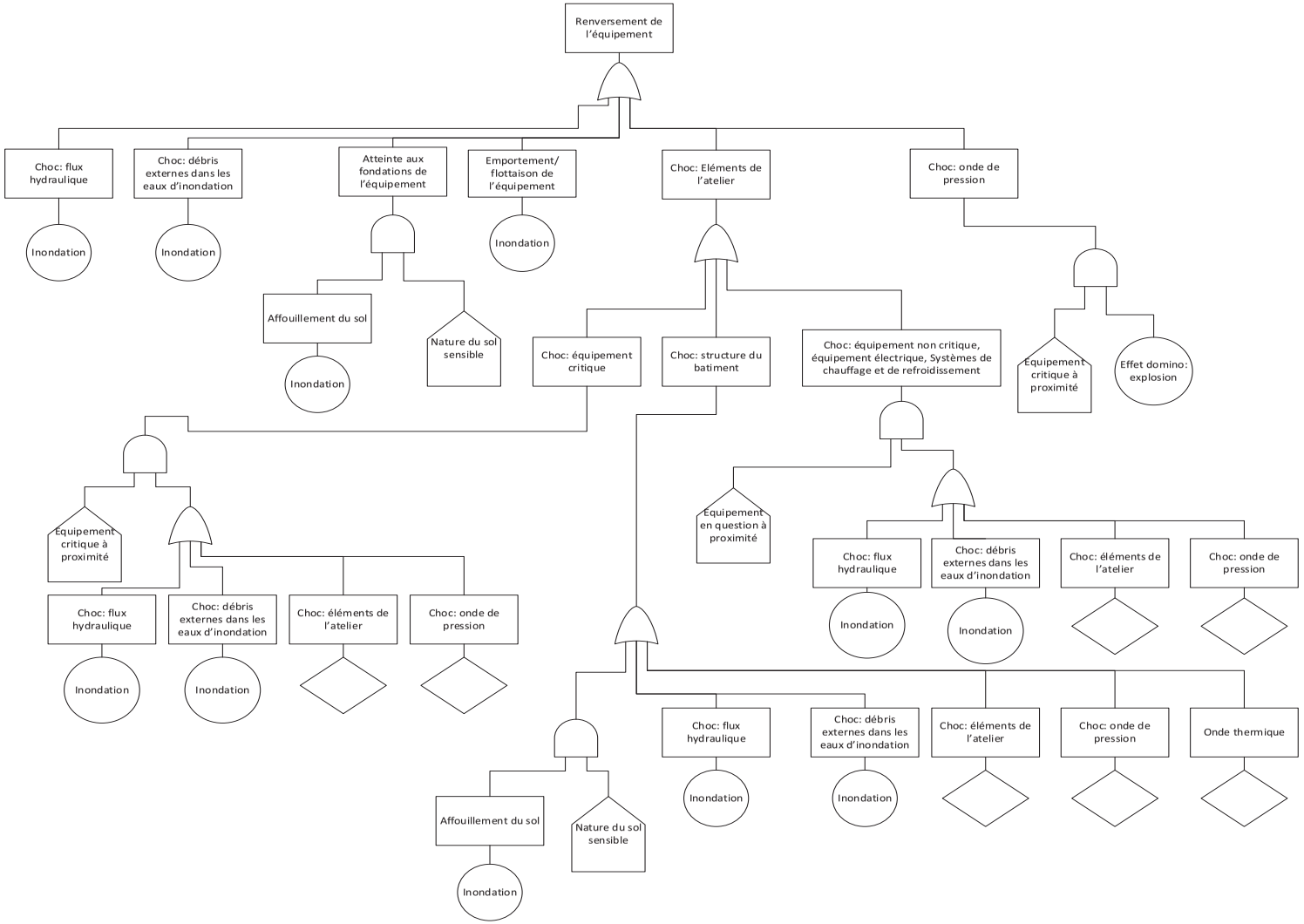
Nœud papillons correspondant à l'évènement critique « Brèche du contenant » (constitué par l'arbre de défaillance « Brèche du contenant » et l'arbre d'évènements unique)



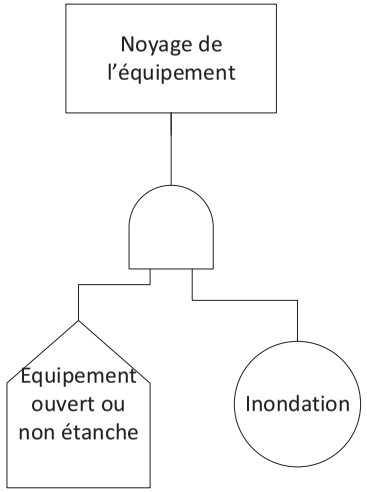

1
Réaction d'emballement/ Réaction chimique secondaire
Défaillance du système de contrôle de température
Dépendance de système de contrôle de température
Dépendance de système de refroidissement/ chauffage
Défaillance des systèmes de refroidissement et de chauffage
Choc: flux hydraulique
Choc: débris externes dans les eaux d'inondation
Choc: éléments de l'atelier
Choc: onde de pression
Onde thermique
Coupure éléctrique
Inondation
Inondation
Choc: flux hydraulique
Choc: débris externes dans les eaux d'inondation
Choc: éléments de l'atelier
Choc: onde de pression
Onde thermique
Coupure éléctrique
Absence de réglage de température (défaillance du système de contrôle de température)
Inondation
Inondation
Défaillance de l'équipement électrique
Coupure électrique générale
Contact avec les eaux d'inondation
Choc: flux hydraulique
Choc: débris externes dans les eaux d'inondation
Choc: éléments de l'atelier
Choc: onde de pression
Onde thermique
Inondation
Inondation
Inondation
Evènement Sommet ou évènement intermédiaire
Condition
Evènement Intentionnellement non décomposé
Evènement de base
Sommet ou renvoi vers un sous-arbre
OU
ET


Evènement critique
Evènement critique secondaire
Type de substance
Evènements critiques tertiaires
Phénomènes dangereux
Evènements majeurs
Brèche du contenant
Diffusion des substances dangereuses dans les eaux d'inondation
OU
Inflammable
OU
Combustion immédiate
Feu en nappe
Onde thermique
Pas de combustion immédiate
OU
Dispersion de gaz
OU
Combustion retardée
OU
Explosion de nuage de vapeurs
Onde de pression/Missiles
Feu à inflammation instantannée
Onde thermique
Dispersion
Pollution de l'air
Effets toxiques
Dispersion du liquide
Pollution de l'eau/sol/nappe phréatique
Effets toxiques
Toxique
Dispersion du liquide
Pollution de l'eau/sol/nappe phréatique
Effets toxiques
Réagit violemment avec l'eau
Libération de gaz
OU
Confinement/stockage intérieur
Explosion physique
Onde de pression/Missiles
Pas de confinement
OU
Toxic
Pollution de l'air
Effets toxiques
Inflammable
OU
Combustion
OU
Explosion de nuage de vapeurs
Onde de pression/Missiles
Feu à inflammation instantannée
Onde thermique
Pas de combustion
Pollution de l'air
Effets toxiques
Réagit avec l'incendie et les autres ondes de chaleur
OU
Libération de vapeurs toxiques
Pollution de l'air
Effets toxiques
Explosion physique
Onde de pression
Onde de pression/Missiles

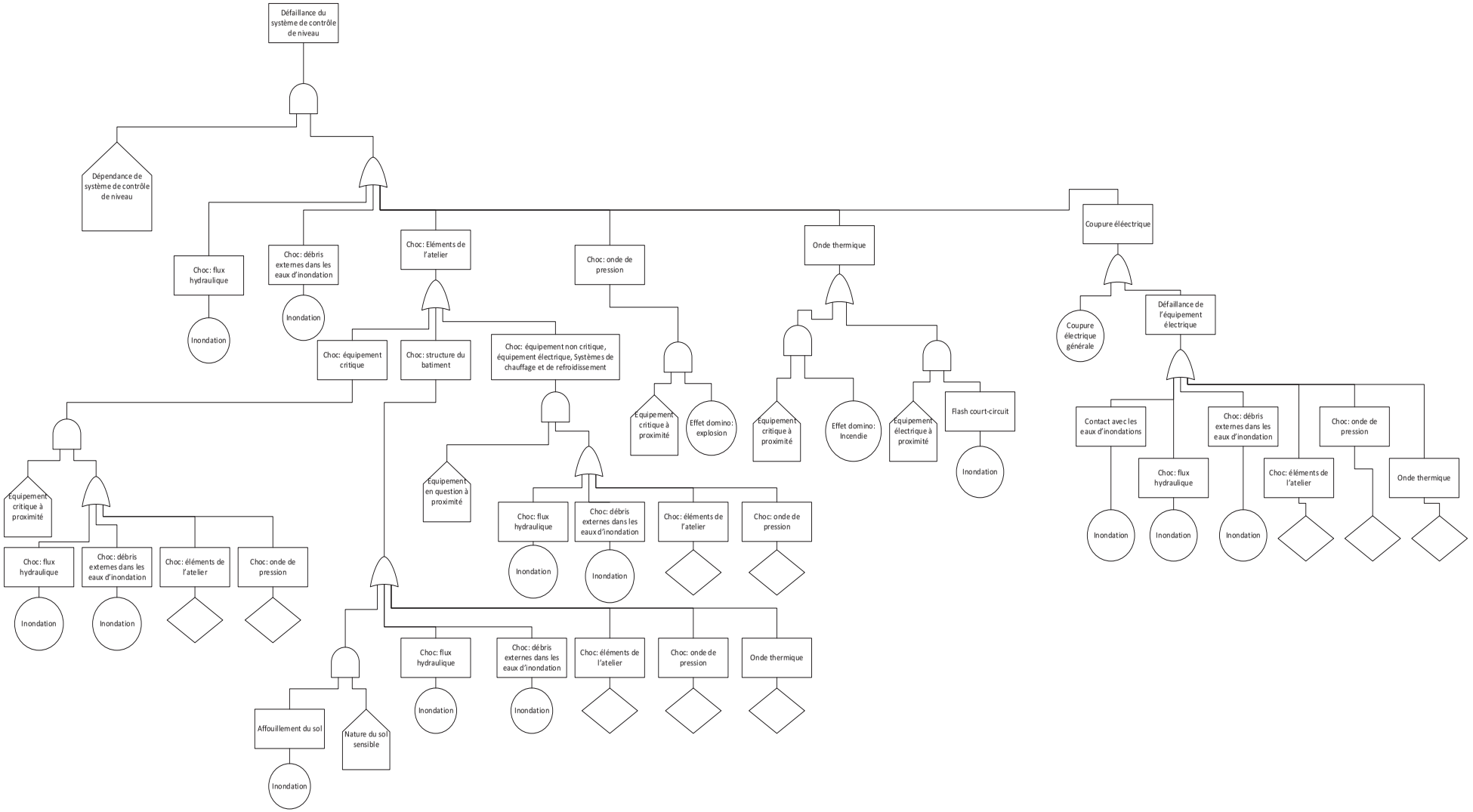
Nœud papillon correspondant à l'évènement critique « Renversement de l'équipement» (constitué par l'arbre de défaillance « Renversement de l'équipement » et l'arbre d'évènements unique présenté précédemment)



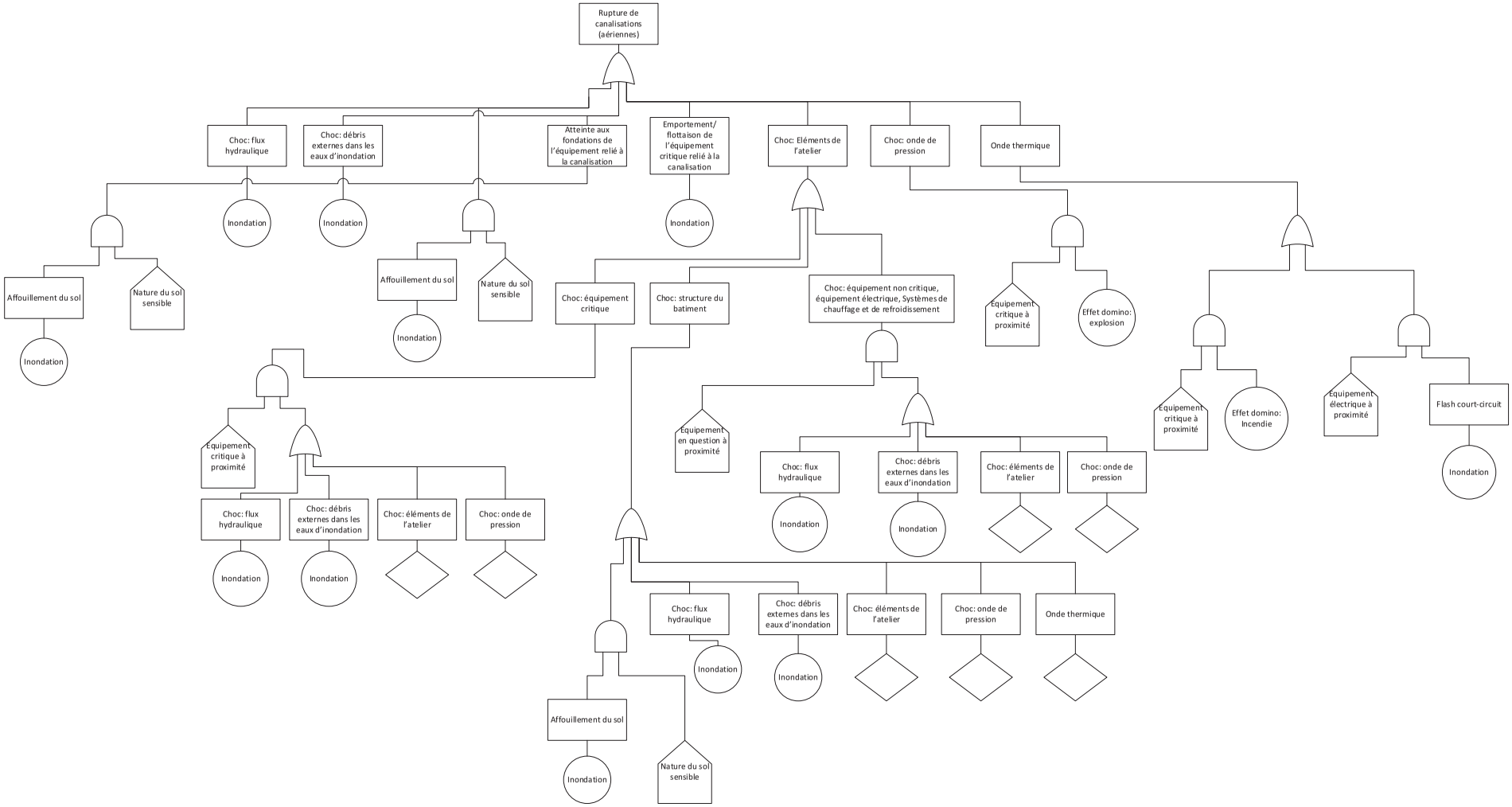
Nœud papillon correspondant à l'évènement critique « Rupture de canalisations » (constitué par l'arbre de défaillance « Noyage de l'équipement» et l'arbre d'évènements unique présenté précédemment)



Nœud papillon correspondant à l'évènement critique « Rupture de canalisations » (constitué par l'arbre de défaillance « Défaillance du système de contrôle de niveau» et l'arbre d'évènements unique présenté précédemment)



Nœud papillon correspondant à l'évènement critique « Rupture de canalisations » (constitué par l'arbre de défaillance « Rupture de canalisations » et l'arbre d'évènements unique présenté précédemment)



Annexe 6 : Liste des MMR de prévention

Eléments concernés	Types de MMR	MMR identifiées	Facteurs de risques
Eviter l'entrée de l'eau dans le bâtiment (+les débris externes)			
	BT/Implantation	Bassin de rétention autour du site permettant de diminuer les hauteurs d'eau dans l'installation + système de balisage permettant de repérer l'emprise de ces bassins	-disponibilité d'espace pour un bassin de rétention
	BU/Mesure d'urgence	Occulter par des dispositifs temporaires les bouches d'aération et de ventilation ainsi que les trappes d'accès au vide sanitaire : utilisation de couvercles se fixant par une simple pression clip, installer des clapets anti-retour au niveau des remontées d'égouts, vannes manuelles sur réseau d'assainissement afin d'éviter les remontées par les égouts	-Faire attention au nombre des clapets anti-retour sur un même réseau ce qui permettra à ce dernier de se mettre en surpression en cas de crue -Disponibilité du personnel d'urgence -Possibilité d'accès du personnel d'urgence -temps suffisant entre l'alerte et l'arrivée des eaux -Existence d'une procédure préalable d'urgence -disposition préalable du matériel
	BT/Implantation	Système de repérage visuel des dispositifs de coupures des vannes du réseau d'assainissement	
	BT/Implantation	Installer des tampons de regard de visite repérables, accessibles et résistants à la mise en charge du réseau : les regards sur les réseaux permettant une inspection visuelle de l'état du réseau doivent être équipés d'un tampon verrouillable pour éviter leur éjection en cas de mise en pression.	
	BT/Implantation BU/Mesure d'urgence	Rendre étanche les tampons de bouches d'égouts et se préparer à devoir les lester	-Disponibilité du personnel d'urgence -Possibilité d'accès du personnel d'urgence -temps suffisant entre l'alerte et l'arrivée des eaux -Existence d'une procédure préalable d'urgence -disposition préalable du matériel
	BU/Mesure d'urgence	Colmater les gaines des réseaux électriques, téléphoniques ou d'assainissement en utilisant des bouchons pour assurer une bonne étanchéité de ces gaines	-Disponibilité du personnel d'urgence -Possibilité d'accès du personnel d'urgence -temps suffisant entre l'alerte et l'arrivée des eaux -Existence d'une procédure préalable d'urgence -disposition préalable du matériel
	BT/Implantation	Colmatage des voies d'eau afin de limiter l'entrée de l'eau par les défauts de construction : La réfection des joints défectueux des maçonneries en pierres ou briques apparentes, traitement des	

		fissures des murs, colmatage autour des pénétrations, colmatage des vides entres les gaines et les tuyaux.	
	BT/Implantation BU/Mesure d'urgence	Condamnation et étanchéification de certaines ouvertures basses pour limiter l'entrée d'eau dans les bâtiments tels que les entrées d'air en bas des murs en mettant en place des capots amovibles devant les petites ouvertures par exemple (à fermer avant l'arrivée de l'inondation et rouvrir après la retrait des eaux)	-Disponibilité du personnel d'urgence -Possibilité d'accès du personnel d'urgence -temps suffisant entre l'alerte et l'arrivée des eaux -Existence d'une procédure préalable d'urgence -disposition préalable du matériel
	BT/Implantation BU/Mesure d'urgence	Digues, levées : qui peuvent être équipées d'ouvertures permettant le passage en temps normal ; exemple de dispositifs d'étanchéité temporaires et amovibles : digue métallique amovible, dispositif water-gate, barrière anti-écoulement	- les levées permanentes font l'objet d'une règlementation contraignante vu qu'elles aggravent les conditions d'inondation pour les sites proches -entretien continu pour préserver leur pérennité et leur efficacité - limite de la hauteur des barrières (batardeaux) à un mètre afin de préserver la stabilité des murs pouvant être menacée dès lors que la différence de hauteur d'eau entre l'intérieur et l'extérieur atteint un mètre - Malgré ces dispositions, peut subsister un passage d'eau résiduel, ce qui impose de les accompagner d'un système d'élimination de l'eau résiduelle : pompe, aspirateur d'eau, groupe électrogène
	BU/Mesure d'urgence	Equipements des portes et des fenêtres avec des systèmes d'obturation pour les ouvertures qui restent indispensables : structure gonflable, sac de sables, sac rempli de terre, batardeau en bois ou en métal, structures souples remplies d'eau épousant les formes des fermetures à boucher	- maintenance et inspection continue -Disponibilité du personnel d'urgence -Possibilité d'accès du personnel d'urgence -temps suffisant entre l'alerte et l'arrivée des eaux -Existence d'une procédure préalable d'urgence -disposition préalable du matériel
	BT/Implantation	Etanchement d'ouvertures par pose d'un avant-mur	-limite d'espace pour la construction d'avant-mur
	BT/Implantation	Pose de portes étanches isolantes	-MMR coûteuse
	BT/Implantation BU/Mesure d'urgence	Prévoir la mise en place de grilles amovibles devant les portes pour permettre le passage de l'eau et pour éviter l'entrée de débris externes (dans certaines zones où l'eau monte rapidement, il est recommandé de laisser entrer l'eau dans le bâtiment afin d'équilibrer les pressions intérieure- extérieure et donc éviter des dommages sur la structure). Ainsi, une grille, dont le système d'attache à la maçonnerie serait préalablement installé, pourra être mise en place temporairement devant les portes et les fenêtres laissées ouvertes	-Disponibilité du personnel d'urgence -Possibilité d'accès du personnel d'urgence -temps suffisant entre l'alerte et l'arrivée des eaux -Existence d'une procédure préalable d'urgence -disposition préalable du matériel
	BT/Implantation	Surélévation au niveau des limites de l'entreprise, exemple : bâtir	-MMR coûteuse

		un trottoir	-limite de la hauteur d'eau maximale
	BT/Implantation BT/Contrôle	Faciliter l'évacuation des eaux et ainsi limiter leur accumulation : Une configuration efficace des systèmes de récupération, de traitement et d'évacuation des eaux pluviales associée à une vérification périodique de l'état et du nettoyage de ces réseaux (système de drainage)	-MMR lourde et coûteuse
	BT/Implantation	Pour éviter l'augmentation des hauteurs d'eau dans les bâtiments : mise en place de réservoirs de collecte en points bas équipés de pompes afin de permettre une évacuation de l'eau au fur et à mesure de son arrivée sur la zone	- efficace pour de faibles hauteurs d'eau
Eviter le déplacement par les eaux de l'équipement, son contact avec l'eau, son contact avec les débris externes : Déplacement de l'équipement (définitif ou temporaire) hors de la zone inondable			
Scénarios concernés : A1/A2/ A4/A511/A512/A531/A532/B1/B2/B4/B511/B512/B531/B532/D311/D312/D331/D332/E1/E2/E5/E611/E612/E631/E632			
Equipements critiques, non critiques, électriques, de contrôle, de chauffage et de refroidissement	BU/Mesure d'urgence	Déplacement dans une zone de refuge dans le site ou hors du site (placer l'équipement sur une sorte de base avec des roues pour faciliter le déplacement)	-Disponibilité du personnel -Possibilité d'accès du personnel d'urgence -Présence et définition préalable d'une zone refuge
Equipements critiques, non critiques, électriques, de contrôle, de chauffage et de refroidissement	BU/Mesure définitive	Déplacement définitif hors zone inondable	-Existence sur le site d'une zone non inondable -Configuration de l'équipement permettant son déplacement
Eviter le déplacement par les eaux de l'équipement, son contact avec l'eau, son contact avec les débris externes : Déplacement de l'équipement en hauteur (définitif ou temporaire) au-dessus de la hauteur d'eau maximale			
Scénarios concernés : A1/A2/ A4/A511/A512/A531/A532/B1/B2/B4/B511/B512/B531/B532/D311/D312/D331/D332/E1/E2/E5/E611/E612/E631/E632			
Equipements critiques, non critiques, électriques, de contrôle, de chauffage et de refroidissement	BU/ Mesure définitive	Déplacement définitif sur : racks, étagères, trémies…	-Existence d'un lieu sûr en hauteur -Configuration de l'équipement permettant son déplacement
Equipements	BU/Mesure	Déplacement temporaire sur : racks, étagères, trémies…	-Disponibilité du personnel d'urgence

critiques, non critiques, électriques, de contrôle, de chauffage et de refroidissement	d'urgence		-Possibilité d'accès du personnel d'urgence -temps suffisant entre l'alerte et l'arrivée des eaux -Existence d'un lieu sûr en hauteur -Définition préalable d'un lieu sûr en hauteur -faisabilité technique en fonction des équipements et de la configuration des locaux -Disposition de matériels nécessaires à l'opération (structures métalliques, plots en béton, systèmes de poulies, appareils de manutention adaptés…)
Eviter le déplacement par les eaux de l'équipement, son contact avec l'eau, son contact avec les débris externes : L'équipement est gardé sur place et le local particulièrement sensible est protégé			
Scénarios concernés : A1/A2/ A4/A511/A512/A531/A532/B1/B2/B4/B511/B512/B531/B532/D311/D312/D331/D332			
Equipements critiques (sans les canalisations), non critiques, électriques, de contrôle, de chauffage et de refroidissement	BT/Implantation	Confinement de l'équipement en murant les portes	-limites de place de confinement -limites de déplacement de l'équipement -S'assurer que les produits en question peuvent être confinés (sans augmenter leur dangerosité en cas d'accident) -MMR lourde et coûteuse
Equipements critiques, non critiques, électriques, de contrôle, de chauffage et de refroidissement	BU/Mesures d'urgence	Etanchéification du local particulièrement sensible : Batardeaux d'urgence autour du local, utilisation de digues de sable ou des structures souples à remplir d'eau épousant les formes d'ouvrages à protéger, renforcement des portes et des serrures, obturation des portes et fenêtres par des panneaux mobiles	-Disponibilité du personnel d'urgence -Possibilité d'accès du personnel d'urgence -temps suffisant entre l'alerte et l'arrivée des eaux -Existence d'une procédure préalable d'urgence -disposition préalable du matériel -pour les structures souples : état critique, la moindre crevaison peut les rendre inefficaces -pour les batardeaux d'urgence : utilisation limitée dans le cas d'inondation avec beaucoup de courant, et pour une hauteur d'eau supérieure à 1 m et une durée de submersion supérieure à 48h et efficacité dépend de l'adhésion du dispositif au mur qui est fonction de la nature des murs et de la qualité des joints et des fixations
Eviter le déplacement par les eaux de l'équipement, son contact avec l'eau, son contact avec les débris externes : L'équipement est gardé sur place et est protégé lui-même			
Equipements critiques, non	BT/Implantation	Murets de protection autour de l'équipement (cuves de rétention) A1/A2/ A4/A511/A512/A531/A532/B1/B2/B4/B511/B512/B531	-Limite de la configuration de l'équipement pour possibilité de placement d'un muret

critiques, électriques, de contrôle, de chauffage et de refroidissement		/B532/D311/D312/D331/D332	-Limite de hauteur pour accéder aux équipements -risque de choc avec des engins de manutention enlevant leur efficacité -maintenance continue pour préserver leur efficacité -Bon entretien des capacités de rétention (nettoyage, étanchéité, disponibilité)
Equipements critiques, non critiques, électriques, de contrôle, de chauffage et de refroidissement	BU/Mesures d'urgence	Batardeaux d'urgence autour de l'équipement/Sorte de murets avec ouvertures A1/A2/ A4/A511/A512/A531/A532/B1/B2/B4/B511/B512/B531 /B532/D311/D312/D331/D332	-Disponibilité du personnel d'urgence -Possibilité d'accès du personnel d'urgence -temps suffisant entre l'alerte et l'arrivée des eaux -Existence d'une procédure préalable d'urgence -utilisation limitée dans le cas d'inondation avec beaucoup de courant -efficacité dépend de l'adhésion du dispositif au mur qui est fonction de la nature des murs et de la qualité des joints et des fixations
Equipements critiques, non critiques, électriques, de contrôle, de chauffage et de refroidissement	BU/Mesures d'urgence	Protection par des digues de sable A1/A2/ A4/A511/A512/A531/A532/B1/B2/B4/B511/B512/B531 /B532/D311/D312/D331/D332	-Disponibilité du personnel d'urgence -Possibilité d'accès du personnel d'urgence -temps suffisant entre l'alerte et l'arrivée des eaux -Existence d'une procédure préalable d'urgence -disposition de son propre stock de sacs et de sable
Equipements critiques, non critiques, électriques, de contrôle, de chauffage et de refroidissement	BU/Mesures d'urgence	Protection avec des structures souples à remplir d'eau épousant les formes d'ouvrages à protéger A1/A2/ A4/A511/A512/A531/A532/B1/B2/B4/B511/B512/B531 /B532/D311/D312/D331/D332	-Disponibilité du personnel d'urgence -Possibilité d'accès du personnel d'urgence -temps suffisant entre l'alerte et l'arrivée des eaux -Existence d'une procédure préalable d'urgence -disposition préalable des structures -état des structures critiques : la moindre crevaison peut les rendre inefficaces
Equipements critiques, non critiques, électriques, de contrôle, de chauffage et de refroidissement	BT/implantation	Grille entourant l'équipement pour éviter son déplacement ou les chocs avec les débris externes des eaux d'inondation A1/A2/ A4/A511/A512/A531/A532/B1/B2/B4/B511/B512/B531 /B532/D311/D312/D331/D332	-limite de place pour la disposition d'une grille -limite de la configuration de l'équipement
Equipement critique :	BU/Mesures d'urgence	Placer les petits réservoirs (type fûts) dans une cuvette de rétention A1/A2/A511/A521/B1/B2/B511/B512/D1/D2/D311/D312	-Disponibilité du personnel d'urgence -Possibilité d'accès du personnel d'urgence

réservoir de stockage			-temps suffisant entre l'alerte et l'arrivée des eaux -Existence d'une procédure préalable d'urgence -Limite par rapport à la taille et au poids de l'équipement
Equipement critique	BU/contrôle	Inspection et maintenance de routine pour localiser toute détérioration ou corrosion pouvant être une cause de fragilisation de l'équipement lors de l'occurrence de l'inondation A1/A511/B1/B511/D1/D311/E1/E611	
Equipement critique : réservoir de stockage	BU/contrôle	Contrôle du stock pour minimiser la quantité de substances dangereuses stockées A1/A511/B1/B511/D1/D311	Mesure déjà prise en compte dans la règlementation ICPE
Equipement critique : canalisation	BT/Implantation	Consolider et augmenter le nombre de supports au niveau des canalisations pour éviter leur rupture	
Equipement critique : réservoir de stockage	BU/contrôle	Contrôle de l'étanchéité de l'équipement C1	
Equipement critique : réservoir de stockage	BT/Implantation	Utilisation de cuves à double enveloppe pour rendre l'équipement plus étanche C1	-MMR coûteuse nécessitant un changement d'équipement industriel
Equipement critique : réservoir de stockage et réacteur	BT/implantation	Eloigner les équipements critiques pour éviter leur choc en cas de déplacement A511/B511	-limite de configuration pour déplacer les équipements -limites d'espace dans le site
Equipement critique : réservoir de stockage et réacteur	BT/Implantation	Ancrage de l'équipement : vis d'ancrage, renforts A4/B4/E5	Possibilité d'ancrage en fonction de la configuration de l'équipement
Equipement critique : réservoir de stockage et réacteur	BU/Mesures d'urgence	Moyen de lester l'équipement tels que des élingues solides arrimées à des sacs de sable, de blocs de fonte ou tout autre pondérable disponible sur place qui ne soit pas soluble et garde sa cohérence sous l'eau + Utilisation de sangles ou chaines pour éviter le déplacement de l'équipement A4/B4/E5	-Disponibilité du personnel d'urgence -Possibilité d'accès du personnel d'urgence -temps suffisant entre l'alerte et l'arrivée des eaux -Existence d'une procédure préalable d'urgence -disposition préalable du matériel -limite de configuration de l'équipement pour le lester

Equipement critique : réservoir de stockage et réacteur	BU/Mesures d'urgence	Remplissage de l'équipement de produits chimiques pour améliorer sa résistance à la poussée d'Archimède A4/B4/E5	-Disponibilité du personnel d'urgence -Possibilité d'accès du personnel d'urgence -temps suffisant entre l'alerte et l'arrivée des eaux -Existence d'une procédure préalable d'urgence -disposition préalable du produit -ça pourrait augmenter le danger en cas de produits incompatibles avec l'eau
Equipement critique : canalisation	BT/implantation	Grille entourant les canalisations pour éviter leur rupture en cas de choc avec un équipement critique déplacé E611	-limite de place pour la disposition d'une grille
Equipement électrique	BT/implantation	Grille entourant l'équipement pour éviter les chocs avec les équipements électriques déplacés A531/B531/D331/E631	-limite de place pour la disposition d'une grille -limite de la configuration de l'équipement
Equipement électrique	BT/implantation BU/Mesure d'urgence	Repérer et actionner les systèmes de coupure des réseaux d'alimentation électrique A72/D52/E82	-Disponibilité du personnel d'urgence -Possibilité d'accès du personnel d'urgence -temps suffisant entre l'alerte et l'arrivée des eaux -Existence d'une procédure préalable d'urgence
Equipement électrique	BT/implantation	Mettre hors d'eau tous les équipements électriques et les connectiques pour éviter les court-circuits A72/D52/E82	SE REFERER à la partie de mise hors d'eau des équipements
Equipement électrique	BT/Implantation	Utilisation de sprinklers à eau pour limiter les effets de l'incendie non domino A56/C27	
Equipement électrique	BU/Mesures d'urgence	Utilisation d'extincteur de feu portable pour limiter les effets de l'incendie non domino A72/D52/E82	
Equipement électrique	BT/Implantation	Utilisation de détecteur de feu et de fumées muni d'alarmes pour limiter les effets de l'incendie non domino A72/D52/E82	
Equipement électrique	BU/Mesures d'urgence	Utilisation de seaux d'eau ou de sable pour limiter les effets de l'incendie non domino A72/D52/E82	
Equipements non critiques	BT/implantation	Grille entourant l'équipement pour éviter les chocs avec les équipements non critiques déplacés A531/A532/B531/B532/D331/D332/E631/E632	-limite de place pour la disposition d'une grille -limite de la configuration de l'équipement
Equipements	BT/implantation	Arrimage des éléments susceptibles de se déplacer lors de	

non critiques		l'inondation et qui ne peuvent être retirés (tels que les remorques, matériel entreposé à l'extérieur…) A531/A532/B531/B532/D331/D332/E631/E632	
Equipements non critiques	BU/Mesure d'urgence	Alourdir certains équipements qui ne peuvent être retirés pour limiter leur déplacement en cas d'inondation A531/A532/B531/B532/D331/D332/E631/E632	-Disponibilité du personnel d'urgence -Possibilité d'accès du personnel d'urgence -temps suffisant entre l'alerte et l'arrivée des eaux -Existence d'une procédure préalable d'urgence
Equipements non critiques	BU/Mesure d'urgence	Déplacement des véhicules et des éléments mobiles non indispensables hors de la zone A531/A532/B531/B532/D331/D332/E631/E632	SE REFERER à la partie de déplacement hors zone inondable
Equipements non critiques	BU/contrôle	Bien rangé et contrôler les zone de production et de stockage pour éviter le déplacement des équipements non critiques	
Systèmes de contrôle	BT/implantation BU/Mesure d'urgence	Prévoir les cellules de commandes (régulateur) des systèmes de contrôle et leurs connectiques en hauteur pour éviter le contact avec l'eau A8411/D1	SE REFERER à la partie de mise hors d'eau des équipements -plus spécifiquement pour les équipements qui doivent être maintenus en marche
Systèmes de contrôle	BU/implantation	Se munir de groupe électrogène pour maintenir les systèmes de contrôle en marche pendant un certain lapse de temps A8416/D6	-applicable pour certains équipements critiques qui ont besoin d'un temps d'arrêt supérieur au temps d'alerte
Systèmes de contrôle	BU/Contrôle	S'assurer de la fiabilité des systèmes de mesure en cas d'atteinte par les eaux d'inondation A8411/D1	-pour les équipements qui doivent être maintenus en marche
Systèmes de contrôle	BU/implantation BU/Mesure d'urgence	Prévoir des organes de réglage manuel en cas de défaillance du système régulateur afin d'activer les systèmes de chauffage, de refroidissement et de remplissage A8411/D1	-pour les équipements qui doivent être maintenus en marche -Disponibilité du personnel d'urgence -Possibilité d'accès du personnel d'urgence -temps suffisant entre l'alerte et l'arrivée des eaux -Existence d'une procédure préalable d'urgence
Systèmes de contrôle	BU/Contrôle	Inspection et maintenance de routine pour localiser toute détérioration ou corrosion pouvant être une cause de fragilisation de l'équipement et de formation de brèche suite à une réaction d'emballement ou une réaction chimique secondaire A8411	-pour les équipements qui doivent être maintenus en marche
Systèmes de contrôle	BU/implantation BU/Mesure d'urgence	Utiliser des SIS (Safety Instrumented Systems) pour contrôler les réactions secondaires et d'emballement tels que des systèmes de refroidissement d'urgence A841	-pour les équipements qui doivent être maintenus en marche -Disponibilité du personnel d'urgence -Possibilité d'accès du personnel d'urgence

			-temps suffisant entre l'alerte et l'arrivée des eaux -Existence d'une procédure préalable d'urgence
Système de chauffage et de refroidissement	BT/implantation	Prévoir les systèmes de chauffage et de refroidissement en hauteur pour éviter le contact avec l'eau A8421/A8422	SE REFERER à la partie déplacement en hauteur -plus spécifiquement pour les systèmes correspondants aux équipements qui doivent être maintenus en marche
Système de chauffage et de refroidissement	BT/implantation	Se munir de groupe électrogène pour maintenir les systèmes de chauffage et de refroidissement en marche pendant un certain lapse de temps A8426	-applicable pour certains systèmes qui ont besoin d'un temps d'arrêt supérieur au temps d'alerte
Système de chauffage et de refroidissement	BU/implantation BU/Mesure d'urgence	Prévoir des organes de réglage manuel en cas de défaillance du système régulateur afin d'activer les systèmes de chauffage, de refroidissement et de remplissage A8427	-pour les équipements qui doivent être maintenus en marche -Disponibilité du personnel d'urgence -Possibilité d'accès du personnel d'urgence -temps suffisant entre l'alerte et l'arrivée des eaux -Existence d'une procédure préalable d'urgence
Système de chauffage et de refroidissement	BU/Contrôle	Inspection et maintenance de routine pour localiser toute détérioration ou corrosion pouvant être une cause de fragilisation de l'équipement et de formation de brèche suite à une réaction d'emballement ou une réaction chimique secondaire A8424/A8425	-pour les équipements qui doivent être maintenus en marche
Structures du bâtiment	BT/implantation	Protéger les bâtiments par des murets résistants A522/A523/B523/B524/D322/D323/E622/E623	-limite d'espace disponible pour la construction de murets
Structures du bâtiment	BU/Contrôle	Inspecter si des fissures se creusent A522/A523/B523/B524/D322/D323/E622/E623	
Structures du bâtiment	BT/implantation	Une bêche en béton permet de protéger les fondations en amont du flux prévisible. Un dallage de couverture (trottoir de protection) en béton armé joignant la bêche à la façade et présentant une légère contre-pente évite le risque de creusement du sol par l'eau en aval de la bêche. A521/B521/D321/E621	- MMR lourde et coûteuse
Structures du bâtiment	BT/implantation	Solutions de protection par tapis d'enrochement, si les abords le permettent. A521/B521/D321/E621	-limite d'espace disponible -fonction des abords

Annexe 7 : Liste des MMR de protection.

Scénarios	Equipements concernés	Types de mesures	MMR proposées (technologique classique)	Défaillance en cas de contact avec les eaux d'inondation ou en cas d'absence d'utilités
Limiter la diffusion par les eaux d'inondation (contre-mesures de rejets de substances dangereuses)				
I	Equipement critique : réservoir de stockage	BT/Implantation	Scellement hermétique des réservoirs de stockage	
	Equipement critique : réservoir de stockage	BT/Implantation	Utilisation des emballages étanches pour les substances stockées	
	Equipement critique : réservoir de stockage et réacteur	BT/Implantation	Murets de protection autour de l'équipement (cuves de rétention)	
	Equipement critique : réservoir de stockage	BU/Mesures d'urgence	Placer les petits réservoirs (type fûts) dans une cuvette de rétention	
	Equipement critique : réservoir de stockage et réacteur	BU/Mesures d'urgence	Utilisation cuves secondaires pour contenir les rejets	
Limiter l'escalation aux incendies				
A'1/ C'5/ D'1	Equipement critique : réservoir de stockage et réacteur	BU/Mesure définitive	Eloigner les équipements critiques contenant des substances inflammables d'autres équipements critiques présentant la possibilité d'incendie ou d'explosion et de toute autre source d'onde de chaleur (équipements électriques) d'une distance de plus de 50m	
		BU/Mesures d'urgence	Diluer le mélange de substances inflammables rejetées : système de ventilation, rideaux de vapeur ou d'eau, avec un matériau d'extinction ou un liquide de vaporisation	Oui en cas de pertes d'utilités
	équipement électrique	BT/Implantation	Utilisation d'équipement électrique à sécurité intrinsèque dans les zones où les rejets de gaz ou vapeurs inflammables peuvent se produire.	
A'3/C'1		BT/Implantation	Utilisation de détecteur de gaz et d'alarmes	Oui en cas de pertes d'utilités
		BU/Mesures d'urgence	Système de ventilation pour diluer les rejets de gaz inflammables dispersés	Oui en cas de pertes d'utilités
A'4				
A'8				
Limiter la propagation et les effets des incendies				
A'2/ A'5/ A'6/ C'7		BT/Implantation	Utilisation de sprinklers à eau	Oui en cas de pertes d'utilités

		BU/Mesures d'urgence	Utilisation d'extincteur de feu portable	
		BT/Implantation	Utilisation de détecteur de feu et de fumées muni d'alarmes	Oui en cas de pertes d'utilités
		BU/Mesures d'urgence	Utilisation de seaux d'eau ou de sable	
A'7/ C'4/ C'8/ D'2		BT/Implantation	Utilisation de détecteur de gaz et d'alarmes	Oui en cas de pertes d'utilités
Limiter l'escalation à la pollution				
A'9/ B'2/B25		BT/Implantation	Mesures de dépollution interne : Faciliter l'évacuation des eaux et ainsi limiter leur accumulation : Une configuration efficace des systèmes de récupération, de traitement et d'évacuation des eaux pluviales (système de drainage)	
		BT/Implantation	Mesures de dépollution interne : mise en place de réservoirs de collecte en points bas équipés de pompes afin de permettre une évacuation de l'eau au fur et à mesure de son arrivée sur la zone et la dépolluer avant de la rejeter dans l'environnement	
B'1				
Limiter l'escalation aux explosions				
C'2	Equipement critique : réservoir de stockage et réacteur	BT/Implantation	Eviter le confinement de tels équipements critiques	
C'3				
C'6				
D'4				
D'3				

Annexe 8 : Questionnaire de satisfaction- Instrument de diagnostic (Diagnostic, guide d'utilisation, catalogue des MMR de prévention).

Evaluation de la forme de l'instrument de diagnostic

- Comment jugez-vous la forme générale de l'instrument (l'agencement des différentes fiches, la présentation de l'objectif à atteindre en début de chaque fiche, l'utilisation du catalogue pour apporter des informations complémentaires pour les réponses aux questions quand cela est nécessaire…)?

  ☐Bonne

  ☐Moyenne

  ☐Passable

Evaluation du contenu, de la compréhension et de la pertinence

- Comment jugez-vous la compréhension globale du diagnostic ?

  ☐Très claire

  ☐Claire

  ☐Pas claire ; Précisez pourquoi (et si possible au niveau de quelles étapes) :

.....
.....

- Avez-vous rencontré des difficultés particulières ?

  ☐Non

  ☐Oui ; Précisez à quelles étapes :

.....
.....

- ❖ Avez-vous rencontré des lacunes particulières durant le remplissage du diagnostic ?

  ☐Non

  ☐Oui ; Précisez à quelles étapes :

.....
.....

- ❖ Jugez-vous certains points abordés inutiles ?

  ☐Non

  ☐Oui ; Précisez à quelles étapes :

.....
.....

- ❖ Avez-vous rencontré des incohérences particulières dans l'agencement du diagnostic ?

  ☐Non

  ☐Oui ; Précisez à quelles étapes :

.....
.....

<u>Evaluation de la mise en œuvre du diagnostic (durée et faisabilité)</u>

- ❖ A combien de temps estimez-vous le remplissage de l'ensemble du diagnostic ? (Temps cumulé)

  ☐1 jour

  ☐Entre 2 et 3 jours

  ☐Supérieur à 4 jours

- ❖ Comment jugez-vous le temps nécessaire pour le remplissage ?

  ☐Court

  ☐Nécessaire

  ☐Long

  ☐Trop long

- ❖ Vu le degré de détails et le recueil nécessaire d'informations, pensez-vous que vous serez dans la possibilité de remplir le diagnostic seul ?

  ☐Oui

  ☐Non

<u>Evaluation des résultats (intérêts et pertinence)</u>

- ❖ Pensez-vous que les résultats obtenus sont réalistes ?

  ☐Oui

  ☐Non ; Précisez pourquoi (et si possible au niveau de quelles étapes) :

.....
.....

- ❖ Le diagnostic répond-il à vos attentes et besoins en termes de prévention du risque d'accidents technologiques induits par l'inondation ?

  ☐Oui

  ☐Non ; Précisez pourquoi:

.....
.....

- ❖ Quels bénéfices avez-vous tiré suite à l'utilisation du diagnostic proposé ?

.....
.....

Commentaires finaux (suggestions, remarques…) :

.....
.....

Annexe 9 : Questionnaire de satisfaction renseigné par l'entreprise X.

Questionnaire de satisfaction- Instrument de diagnostic (Diagnostic, guide d'utilisation, catalogue des MMR de prévention)

Evaluation de la forme de l'instrument de diagnostic

- Comment jugez-vous la forme générale de l'instrument (l'agencement des différentes fiches, la présentation de l'objectif à atteindre en début de chaque fiche, l'utilisation du catalogue pour apporter des informations complémentaires pour les réponses aux questions quand cela est nécessaire...)?

  ☒ Bonne

  ☐ Moyenne

  ☐ Passable

Evaluation du contenu, de la compréhension et de la pertinence

- Comment jugez-vous la compréhension globale du diagnostic ?

  ☐ Très claire

  ☒ Claire

  ☐ Pas claire ; Précisez pourquoi (et si possible au niveau de quelles étapes) :

.....

.....

- Avez-vous rencontré des difficultés particulières ?

  ☐ Non

  ☒ Oui ; Précisez à quelles étapes :

lien entre les fiches et les MMR

.....

- Avez-vous rencontré des lacunes particulières durant le remplissage du diagnostic ?

  ☒ Non

  ☐ Oui ; Précisez à quelles étapes :

.....

.....

- Jugez-vous certains points abordés inutiles ?

  ☒Non

  ☐Oui ; Précisez à quelles étapes :

.....
.....

- Avez-vous rencontré des incohérences particulières dans l'agencement du diagnostic ?

  ☒Non

  ☐Oui ; Précisez à quelles étapes :

.....
.....

Evaluation de la mise en œuvre du diagnostic (durée et faisabilité)

- A combien de temps estimez-vous le remplissage de l'ensemble du diagnostic ? (Temps cumulé)

  ☒1 jour

  ☐Entre 2 et 3 jours

  ☐Supérieur à 4 jours

- Comment jugez-vous le temps nécessaire pour le remplissage ?

  ☐Court

  ☒Nécessaire

  ☐Long

  ☐Trop long

- Vu le degré de détails et le recueil nécessaire d'informations, pensez-vous que vous serez dans la possibilité de remplir le diagnostic seul ?

  ☒Oui

  ☐Non

Evaluation des résultats (intérêts et pertinence)

- Pensez-vous que les résultats obtenus sont réalistes ?

  ☒Oui

  ☐Non ; Précisez pourquoi (et si possible au niveau de quelles étapes) :

.....
.....

- Le diagnostic répond-il à vos attentes et besoins en termes de prévention du risque d'accidents technologiques induits par l'inondation ?

  ☒Oui

  ☐Non ; Précisez pourquoi:

.....
.....

- Quels bénéfices avez-vous tiré suite à l'utilisation du diagnostic proposé ?

Mise en évidence de risques sur des équipements
récemment installé (cuve GPL)

Commentaires finaux (suggestions, remarques...) :

.....
.....

École Nationale Supérieure des Mines
de Saint-Étienne

NNT : *2013 EMSE 0719*

Carine EL HAJJ

RISK ANALYSIS METHODOLOGY FOR THE PREVENTION OF TECHNOLOGICAL ACCIDENTS TRIGGERED BY FLOODING OF INDUSTRIAL FACILITIES (NATECH)

Speciality : Environmental Science and Engineering

Keywords : Natech, Industrial accident triggered by floods, Analysis of past accidents, Risk analysis, Bow-tie, MADS MOSAR

Abstract :

A Natech accident is the impact of a NAtural event on an industrial plant (such as an ICPE-Classified Installation for the Environmental Protection). The impact can trigger a TECHnological accident, damaging the vicinity of the industrial facility (inhabitants, their properties and the environment). The final objective of this work is to develop a risk analysis methodology for the prevention of technological accidents triggered by flooding of industrial facilities. Therefore, the work begins with an analysis of past technological accidents triggered by floods. Thus, it was identified that Natech accidents are the consequences of hazardous materials releases from critical equipment, which in turn are damaged directly and indirectly by flood waters. Depending on the type of hazardous substances released, three categories of technological accidents are observed (fire, pollution and explosion). Afterwards, a risk analysis methodology was developed. It is mainly based on the MADS-MOSAR method, which was modified in order to be adapted to the Natech issue. The analysis resulted in the identification of five generic scenarios of technological accidents triggered by floods that can occur within an industrial installation. These scenarios were represented using the bow-tie tool. Then, around sixty preventive and protective measures were identified. The validation of the elaborated scenarios was done, on one hand, in the surface treatment industrial sector and, on the other hand, in two specific industrial facilities. The validation phase helped to test the completeness and plausibility of the generic scenarios, as well as the relevance of the measures previously identified. Furthermore, the validated scenarios were used to develop a checklist helping operators to decrease the vulnerability of their industrial facilities to technological accidents triggered by floods, along with a catalog of preventive and protective measures. Finally, the tool was applied to an industrial installation in order to enhance it and test its relevance by operators.

École Nationale Supérieure des Mines
de Saint-Étienne

NNT : *2013 EMSE 0719*

Carine EL HAJJ

METHODOLOGIE POUR L'ANALYSE ET LA PREVENTION DU RISQUE D'ACCIDENTS TECHNOLOGIQUES INDUITS PAR L'INONDATION (NATECH) D'UN SITE INDUSTRIEL

Spécialité: Sciences et Génie de l'Environnement

Mots clefs : Natech, Accident déclenché par une inondation, Retour d'expériences, Analyse de risques, Nœud papillon, MADS MOSAR

Résumé :

Un évènement Natech est un accident TECHnologique provoqué par l'impact d'un aléa NAturel sur une installation industrielle. Cet accident peut porter atteinte à l'extérieur de l'emprise du site, aux personnes, aux biens ou à l'environnement. L'objectif de ce travail est de mettre au point une méthodologie pour l'analyse et la prévention du risque d'accidents technologiques induits par l'inondation (Natech inondation) d'un site industriel. La méthodologie repose, dans un premier temps, sur une étude des Retours d'Expériences. Il a été identifié que les accidents Natech sont imputables à un rejet de matières dangereuses sur des équipements dits critiques endommagés directement ou indirectement par les eaux d'inondation. Les rejets de matières dangereuses vont amener à trois types d'accidents (incendie, pollution, explosion). Dans un deuxième temps, la méthode MADS-MOSAR a été adaptée à l'application aux accidents Natech inondation. L'analyse a abouti à cinq scénarios génériques d'accident Natech inondation sous forme de cinq nœuds papillons. Une soixantaine de Mesures de Maîtrise de Risque de prévention et de protection ont été identifiées. La validation de la complétude et de la plausibilité des nœuds papillons génériques est effectuée, d'une part, à l'échelle du secteur d'activité de traitement de surface et, d'autre part, à l'échelle spécifique d'établissements industriels. Ce travail a abouti à un outil de diagnostic de la vulnérabilité d'une installation industrielle aux accidents Natech inondation, accompagné d'un catalogue de MMR. Enfin, ce diagnostic a été appliqué sur un site industriel afin d'évaluer son mode opératoire et de l'enrichir par l'expérimentation.